

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
FAKULTA STROJNÍ  
KATEDRA MATERIÁLU

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Zaměření: Materiálové inženýrství

**Vliv keramických materiálů a technologie na kvalitu povrchu  
v souvislosti s výslednými tribologickými vlastnostmi**

**Influence of ceramic materials and technologies for surface  
quality in relation to the final tribological properties**

**KMT – 278**

**Bc. Vladislav K Á D N E R**

Vedoucí práce: Dr. Ing. Daniel Šída  
Konzultant: Ing. Miroslav Liška – CoorsTek Turnov

Počet stran: 70  
Počet tabulek: 15  
Počet obrázků: 27  
Počet grafů: 13  
Počet příloh: 9

Datum 24.5 2013

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	<b>Bc. Vladislav K Á D N E R</b>
studijní program	<b>N2301 Strojní inženýrství</b>
obor	<b>2303 T 002 Strojírenská technologie</b>
zaměření	<b>Materiálové inženýrství</b>

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

## **Vliv keramických materiálů a technologie na kvalitu povrchu v souvislosti s výslednými tribologickými vlastnostmi.**

### **Zásady pro vypracování:**

(uveďte hlavní cíle diplomové práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Vyhodnoťte vliv procesních změn na kvalitu materiálu ( Ra a lesk) .
2. Stanovte a vyhodnoťte závislost Ra a lesku
3. Popište a vyhodnoťte zadírávání těchto materiálů.



Forma zpracování diplomové práce:

- průvodní zpráva v rozsahu 40 - 50 stran
- přílohy

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

- [ 1 ] Šašek,Ladislav.: *Laboratorní metody v oboru silikátů*, SNTL, Praha , 1981
- [ 2 ] Hlaváč, Jan.: *Základy technologie silikátů*,SNTL, Praha, 1988

Vedoucí diplomové práce:	Dr. Ing. Daniel Šída
Konzultant diplomové práce:	Ing. Miroslav Liška

L.S.

prof. Ing. Petr LOUDA,CSc.  
vedoucí katedry

doc. Ing. Miroslav MALÝ,CSc.  
děkan

V Liberci dne 10.10.2012

---

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ) .Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

# ANOTACE

<b>Studijní program:</b>	N2301 Strojní inženýrství
<b>Diplomant:</b>	Bc. Vladislav Kádner
<b>Téma práce:</b>	Vliv keramických materiálů a technologie na kvalitu povrchu v souvislosti s výslednými tribologickými vlastnostmi.
<b>Vedoucí práce:</b>	Dr. Ing. Daniel Šída
<b>Konzultant:</b>	Ing. Miroslav Liška – CoorsTek Turnov

## ABSTRAKT:

Diplomová práce se zabývá vyhodnocením kvality povrchu vybraných výrobků firmy Coorstek Advanced Materials Turnov a materiálů, z kterých jsou vyrobeny. Charakterizujícími vlastnostmi u těchto výrobků jsou v případě této firmy drsnost povrchu Ra a Rmr - „lesk“. V práci jsou hodnoty Rmr a drsnosti Ra vyhodnoceny a je stanovena jejich závislost. Dále je vyhodnoceno zadírávání keramického materiálu.

**Klíčová slova:** drsnost, lesk, povrch, korund, tribologie

## ABSTRACT:

This thesis is concerned with the evaluation of the surface quality of selected products from company Coorstek Advanced Materials Turnov and materials from which they are made. Characterizing properties of these products in this company are the roughness Ra and Rmr - bearing ratio. In this work, the values of Rmr and roughness Ra are evaluated and determined their dependence. Further described is galling of ceramic material.

Key words: Roughness, bearing ratio, surface, corundum, tribology

## **Prohlášení**

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

## **Poděkování**

Rád bych zde poděkoval všem lidem, kteří mi pomohli při řešení problémů spojených s touto prací a to především Dr. Ing. Danielu Šídovi a Ing. Miroslavu Liškovi za vedení a poskytnutí cenných rad. Velké poděkování patří také mým rodičům za podporu během mého studia na TUL.

# Obsah

<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>11</b>
<b>2. Keramika.....</b>	<b>11</b>
2.1 Použití konstrukčních keramických materiálů .....	11
2.2 Oxid hlinitý .....	12
2.2.1 Původ $\text{Al}_2\text{O}_3$ .....	13
2.2.2 Výroba $\text{Al}_2\text{O}_3$ – Bayerova metoda.....	14
2.3 Příprava keramických materiálů .....	16
2.3.1 Mletí .....	16
2.3.2 Homogenizace .....	17
2.3.3 Rozprachové sušárny .....	17
2.3.4 Lisování .....	18
2.4 Sintrace.....	18
2.4.1 Modely slinovacího procesu.....	20
<b>3. Tribologie .....</b>	<b>21</b>
3.1 Tření .....	21
3.1.1 Smykové tření.....	21
3.1.2 Mechanická teorie tření .....	24
3.2 Otěr.....	25
3.3 Vliv povrchu materiálu .....	27
3.4 Měření drsnosti povrchu .....	28
3.4.1 Metody měření drsnosti.....	28
3.4.2 Dotykový profilometr .....	29
3.5 Termíny dle ČSN EN ISO 4287.....	30
3.5.1 Drsnost.....	30
3.5.2 R - parametry .....	30
3.6 Měření lesku.....	35
<b>EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....</b>	<b>36</b>
4.1 Měření $R_{\text{mr}}$ - „lesk“.....	36
4.2 Použité materiály a zařízení .....	37
4.2.1 Keramické materiály .....	37
4.2.2 Leštící suspenze.....	37
4.2.3 ProfiPress 60 T .....	38



4.2.4	Mikroskop Leica DFC280 .....	39
4.2.5	Hommel Tester T 500.....	40
4.2.6	Měření kroutícího momentu – TMV3 .....	41
4.2.7	Další zařízení použita v diplomové práci .....	42
4.3	Závislost kvality povrchu na použitém typu diamantové suspenze .....	43
4.4	Závislost kvality povrchu na lisovacím tlaku pro materiál T195 NS.....	48
4.5	Závislost kvality povrchu na lisovacím tlaku pro materiál P 172 SDP.....	52
4.6	Zadírání keramického materiálu T 195 NS .....	58
<b>4.</b>	<b>Diskuse výsledků.....</b>	<b>65</b>
<b>5.</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>66</b>
<b>6.</b>	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>68</b>
	<b>Seznam obrázků tabulek a grafů.....</b>	<b>69</b>
	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>70</b>





## Seznam zkratek a symbolů

$\rho$	hustota	[gcm <sup>-3</sup> ]
T	teplota	[°C]
E	modul pružnosti	[MPa]
Hv	Vickersova tvrdost	[MPa]
n	otáčky	[s <sup>-1</sup> ]
D,d	průměr	[m]
p	tlak	[bar,Pa]
B.D	sypná hustota (bulk density)	[gcm <sup>-3</sup> ]
G.D	hustota výlisku (green density)	[gcm <sup>-3</sup> ]
F.D	hustota výpalku (fired density)	[gcm <sup>-3</sup> ]
m	hmotnost	[kg]
h	výška	[m]
V	objem	[m <sup>3</sup> ]
F	síla	[N]
s	směrodatná odchylka	
Lt	Délka posuvu	[mm]
MI(c)	Poměr materiálové délky profilu	[-]
Rp	Největší výška výstupku profilu	[ μ m]
Rv	Největší výška prohlubně profilu	[ μ m]
Rz	Největší výška profilu	[ μ m]
Rc	Průměrná výška prvků profilu	[ μ m]
Rt	Celková výška profilu	[ μ m]
Ra	Průměrná aritmetická úchylna posuzovaného profilu	[ μ m]
Rq	Průměrná kvadratická úchylna posuzovaného profilu	[ μ m]
Rsk	Šikmost posuzovaného profilu	[ μ m]
Rku	Špičatost posuzovaného profilu	[ μ m]
Rsm	Průměrná šířka prvků profilu	[ μ m]
Rmr(c)	Materiálový poměr profilu (Bearing ratio BR)	[%]



# 1. ÚVOD

Keramika je nejstarší materiál, který člověk vyrobil, jsou známy nálezy keramických střepů starších více než deset tisíc let. Tyto výrobky lze označit za první umělé materiály se specifickými vlastnostmi a stabilitou jejich vlastností. Moderní keramické materiály se s pokrokem technologické úrovně značně liší jak ve skladbě surovin tak i výslednými vlastnostmi. Dnes se používá keramika jak pro své přednosti, známé od počátku jejího vzniku (snadno dostupné suroviny, snadné tvarování v plastickém stavu, výhodné užité vlastnosti po výpalu), tak pro mnoho předností dalších objevovaných postupně v průběhu rozvoje techniky.

Technická keramika se na rozdíl od tradiční keramiky vyrábí z čistých, uměle připravených surovin například oxidové keramiky na bázi ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Si}_2\text{O}$ ) nebo keramiky neoxidové na bázi karbidů, nitridů, boridů či jiných speciálních keramických materiálů.

Keramika, která nalezla uplatnění ve zdravotnictví, v chemickém a strojním průmyslu, v silnoproudé a vysokonapěťové technice a v elektronice si nutně vyžaduje zpřesnění a zpřísnění technologických postupů při vlastní výrobě. V některých případech se žádá dokonalý povrch z důvodů technologických nebo i estetických.

Problémem kvality povrchu se zabývá tato diplomová práce. Práce je rozdělena na část teoretickou a experimentální. Teoretická část se skládá ze dvou kapitol, první kapitola se věnuje keramice, především oxidovou keramikou  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , druhá kapitola se věnuje tribologickým vlastnostem, měřením lesku a drsnosti povrchu.

V experimentální části bude sledována závislost drsnosti povrchu  $R_a$  a lesku (metoda materiálového podílu) vypálených vzorků. Tyto charakteristiky jsou závislé jak od zpracování před výpalem (lisovací tlak, druh materiálu) tak i od finálního zpracování (leštící suspenze).

Výsledky měření budou dále využívány ve firmě Coorstek s.r.o Turnov.



# TEORETICKÁ ČÁST

Jak již v úvodu bylo naznačeno, teoretická část mé diplomové práce se skládá z kapitoly věnované keramice, převážně technickou oxidovou keramikou  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , její výrobou, použitím a následným zpracováním tohoto keramického materiálu. V druhé části budou popsány tribologické vlastnosti – smykové tření, způsoby měření drsnosti povrchu, a lesku.

## 2. Keramika

### 2.1 Použití konstrukčních keramických materiálů

Keramika je se svými vynikajícími elektrickými, magnetickými, tepelnými a chemickými vlastnostmi nepostradatelná v průmyslu elektrotechnickém a elektronickém. Díky mechanickým vlastnostem za vysokých teplot, odolností proti otěru, korozi a dalším termomechanickým vlastnostem se konstrukční keramika uplatňuje ve strojírenství, hutnictví, chemickém a textilním průmyslu. Nové konstrukční keramické materiály lze rozdělit podle použití do těchto skupin. [1]

- Otěruvzdorné součásti
- Keramické brusné materiály
- Řezné nástroje
- Ložiska
- Keramika pro lékařské aplikace
- Elektrochemická zařízení:
- Tepelné stroje:
- Tepelné výměníky:
- Povlaky:
- Vojenské a kosmické použití



Tab. 1: Vlastnosti keramických materiálů[2,3]

Materiál	Hustota $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Teplota tání [°C]	Modul pružnosti [GPa]	Pevnost v tlaku [MPa]	Tepelná vodivost $\lambda$ [W/mK]	Tepelná rotažnost $\alpha \cdot 10^{-6}$ [K <sup>-1</sup> ]	Tvrдость podle Vickerse [GPa]
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,99	2054	400	5500	26 – 39	7,0 – 8,0	20
ZrO <sub>2</sub>	6,10	2710	250	2000	2,0 – 4,5	10,5 – 11,0	13
MgO	3,58	2826	250	...	10 – 35	10,8	7
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,03	2460	180	...	...	6,8	...
TiO <sub>2</sub>	4,25	1830	...	...	3 – 4	7,1 – 9,2	...
CaO	3,22	2614	...	...	7 – 14	13	...
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	3,18	1900	320	...	32 – 35	3,1	16 – 21
BN	3,48	2730	660	...	...	...	50
AlN	3,26	2200	330	2100	140 – 180	4,5	11
SiC	3,21	2500	480	3900	120	5,3	26
B <sub>4</sub> C	2,51	2450	470	2600	30 – 42	5,0	35
TiC	4,93	3100	322	2500	110	8,0 – 8,6	30

## 2.2 Oxid hlinitý

Oxid hlinitý je nejpoužívanějším oxidem v technické keramice. Základní chemickou sloučeninou je šesterečná modifikace  $\alpha$  – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zvaná korund. Vlastnosti, které tato látka hmotě dodává, je vysoká mechanická pevnost, tvrdost, žáruvzdornost a chemická odolnost (i v kys. fluorovodíkové). Vlastnosti jsou tím větší, čím je keramika čistší. [4]

Korundová keramika, která po vypálení obsahuje méně Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> než 95 % se nazývá prokorundová keramika. Pro snazší slinování keramiky se do hmoty přidávají jíly, kaolin a taviva, usnadní se tím také tvarování výrobku. Teplota výpalu se pohybuje mezi 1450 – 1700°C podle složení vypalovaného materiálu. Používá se především pro mechanické pevné díly.

Při obsahu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nad 95% mluvíme o korundové keramice. Do hmoty se přidávají mineralizátory jako je mastek či TiO<sub>2</sub>. Teplota výpalu je 1700 – 1800°C. Používají se pro žáruvzdorné a mechanicky pevné díly. [4]

Velmi čistý korund je keramický materiál s obsahem nečistot jen v desetínách procenta. Výchozí surovinu je nutné chemicky čistit. Teplota výpalu se pohybuje nad 1800°C, pokud se výpal provádí ve vodíkové atmosféře nebo vakuu s dlouhou výdrží může se stát výrobek průsvitným. [4]



Vlastnosti korundové keramiky podle procentuálního obsahu  $\text{Al}_2\text{O}_3$  je uveden v následující tabulce.

Tab. 2: Vlastnosti korundové keramiky[2,3]

Materiál	jednotky	Obsah $\text{Al}_2\text{O}_3$ (hmot %)			
		80 – 86	87 – 95	96 – 99	>99
Hustota	$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	3,5 – 3,6	3,6 – 3,7	3,7 – 3,8	3,8 – 3,9
Youngův modul	E [GPa]	300	400	400	400
Pevnost v ohybu	$R_f$ [MPa]	200	250	280	300
Pevnost v tahu	$R_t$ [MPa]	120	130	140	150
Pevnost v tlaku	$R_{pd}$ [MPa]	2000	2000	2000	3000
Tvrdost dle Vickerse	$H_v$ [MPa]	1500	1500	1600	2000
Koeficient délkové roztažnosti	$\alpha \cdot 10^{-6}$ [K <sup>-1</sup> ]	6	7	7,5	8
Tepelná vodivost	$\lambda$ [W.m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	10 – 16	14 – 24	16 – 28	19 – 30

### 2.2.1 Původ $\text{Al}_2\text{O}_3$

V přírodě lze oxid hlinitý nalézt jako monokrystal ( $\alpha$  –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) zvaný korund. Přírodní korund však zpravidla obsahuje příměs jiných prvků (Fe, Cr, Cu, Mg, aj.) pak tento minerál nazýváme Safír. Tyto příměsi dávají Safíru různé barevné nádechy. [4,5]

Pro výrobu hliníku a oxidu hlinitého pro keramickou výrobu se však používá jiný výchozí materiál – bauxit. Bauxit je směs několika minerálů böhmitu a diasporu (oba  $\text{AlO}(\text{OH})$ ), gibbsitu  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , goethitu, lepidokrokitu (oba  $\text{FeO}(\text{OH})$ ), hematitu  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , kaolinitu a někdy i chloritu, kalcitu, apatitu. Svůj název bauxit získal podle naleziště u vesnice Les Baux-de-Provence ve Francii. [5]



Obr. 1: Bauxit[5]

Vznik této horniny je spojován s chemickým zvětráváním a rozpadem hornin (tzv. laterizací) obsahující silikáty hliníku. Odplavováním rozpustných složek z hornin vlivem



prudkých dešťů zůstávají jen méně mobilní minerály hliníku a železa, hydroxidací a oxidací pak vzniká bauxit. [5]

*Tab. 3: Nejvýznamnější producenti bauxitu pro rok 2012 [6]*

Stát	Produkce [T]
Australie	70,000
Čína	40,000
Brazílie	32,100
Indie	18,000
Guinea	17,400

### 2.2.2 Výroba $\text{Al}_2\text{O}_3$ – Bayerova metoda

Bayerova metoda je nejrozšířenější po celém světě, převážná část  $\text{Al}_2\text{O}_3$  je vyrobena právě touto. Výchozí surovinou je zde kvalitní bauxit s nízkým obsahem oxidu křemičitého přibližně v rozmezích 2-5 %. Bayerova metoda je pro zpracování takovýchto rud ekonomicky hospodárná. Podstata metody spočívá v loužení oxidu hlinitého loužicemi roztoky, z čehož je získáván hlinitanový roztok, který se následně sám rozkládá za vylučování hydroxidu hlinitého. [7]

Tyto reakce jsou vratné (1)



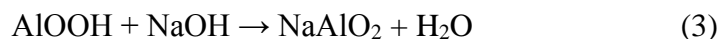
#### Technologie Bayerovy metody

Jedná se o cyklus, který je uzavřený. Loužení různých druhů bauxitu probíhá v hydroxidu sodném, z čehož se následně vysrážejí sloučeniny hliníku. Různé typy bauxitu mají různé reakce a probíhají za různých podmínek. [7]

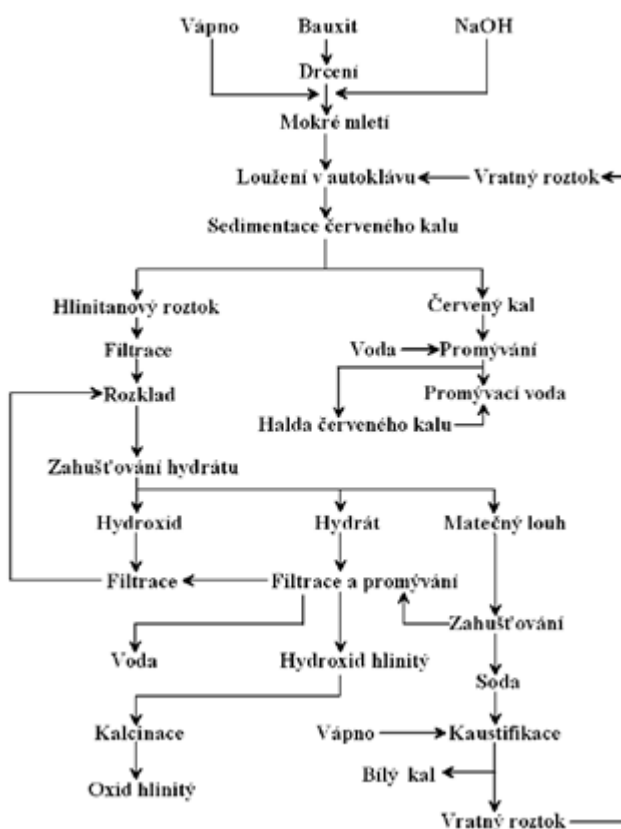
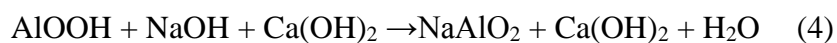
- **gibbistické bauxity** se louží za teplot vyšších než je  $100\text{ }^\circ\text{C}$  a srážení probíhá pod touto teplotou:



- **boehmitické bauxity** se louží při teplotách vyšších než 200 °C :



- **diasporické bauxity** se louží při nejvyšší teplotě a to nad 240 °C:



Obr. 2: Výroby  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Bayerovým způsobem[7]

Hlavní operační kroky Bayerovy metody:

- rozklad: zde se vytváří hlinitanový roztok loužením bauxitu
- oddělování červeného kalu
- srážení hydroxidu hlinitého z hlinitanového roztoku
- odstranění  $\text{Al(OH)}_3$  z ochlazujícího se hlinitanového roztoku
- odpařování matečního roztoku



## 2.3 Příprava keramických materiálů

Příprava spočívá v namletí výchozího keramického materiálu, jeho homogenizaci a následnou výrobu vlastního granulátu např. v rozprachové sušárně.

### 2.3.1 Mletí

Mletí keramického materiálu lze rozdělit na mletí za sucha nebo za mokra, kdy mletí za mokra je běžnější. U suchého mletí je zpravidla nutné chlazení mlýnu, protože vlivem vzájemného tření náplně vzniká teplo. Pro mletí se nejčastěji používají kulové mlýny.[4]

Mlýn se plní přibližně z 1/3 mlecími tělisky (kulička, váleček), mletého materiálu a vody se přidává zpravidla podle poměru 1:1:1 neboli stejná váha mlecích těles, vody a mletého materiálu. [4]



*Obr. 3: Princip kulového mlýnu[8]*

Mletí probíhá převalováním a roztíráním mlecích těles o melivo. Důležitým parametrem je počet otáček mlýnu. Je nutné zajistit takovou rychlost otáček, aby byla mlecí tělesa vynášena do horní poloviny mlýna a tam opadávala. Při nízkých otáčkách nejsou tělesa dostatečně v pohybu a při velkých otáčkách jsou tělesa unášena setrvačnou silou po obvodu mlýnu. [4]





Orientační vzorec pro optimální otáčky jsou:

$$n = \frac{24 - 32}{\sqrt{D}} \quad (5)$$

$$n = \frac{34}{\sqrt{D}} \quad (6)$$

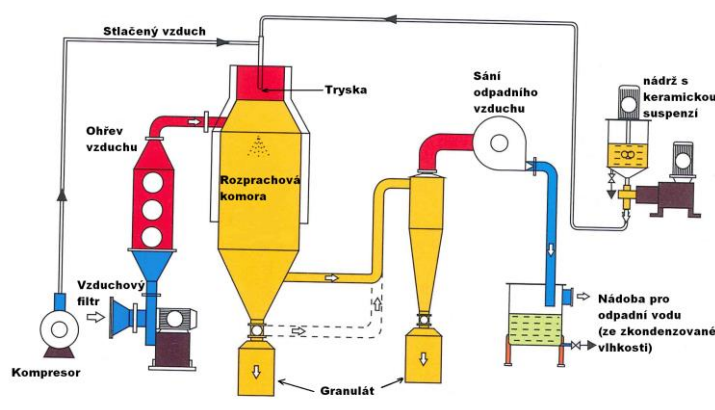
Jiné druhy mlýnů se využívají v menší míře, spadá sem např. vibrační mlýn – kde je k uvedení mlecího tělesa do pohybu realizováno vibrací celé nádoby. Méně významné válcové, kladivové, kolíkové mlýny.[4]

### 2.3.2 Homogenizace

Ke zrovnoměrnění složení a zrnitosti materiálů se provádí homogenizace. Rozeznáváme homogenizace za mokra nebo za sucha. Mokrá homogenizace se běžně používá při přípravě keramických suspenzí. Po homogenizaci se keramická suspenze filtruje, přičemž dochází k zachycení případných nečistot.[4]

### 2.3.3 Rozprachové sušárny

Jsou to zařízení, ve kterém se horkými plyny nebo vzduchem vysušují kapky keramické suspenze. Suspenze je do zařízení přiváděna buď tryskou, nebo rotačním kotoučem. Během letu se kapka vysuší a vzniká pravidelná kulička, obsahující jen několik málo procent vody. Takto připravený granulát je vhodný k lisování.[4]



Obr. 4: Schema rozprachové sušárny[8]

### 2.3.4 Lisování

Lisování je jeden z nejefektivnějších způsobů tvarování keramických granulátů působením tlaku v tvrdokovových formách. Lisování patří do technologií vhodných pro sériovou a velkosériovou výrobu.[4]

Pro suché lisování jsou charakteristické ploché tvary, kde délka a šířka převažuje nad tloušťkou, méně žádoucí jsou i členité tvary. Při lisování jsou rozměry výlisku a smrštění při výpalu silně závislé na výši tlaku, proto je snaha dosažení co nejvyšší objemové hmotnosti. Problémem při suchém lisování je tření mezi keramickým granulátem, formou a mezi granulemi. Vznikají tak oblasti nižšího tlaku převážně kolem stěn matrice. Ke zlepšení rozložení tlaků dochází v případě oboustranného lisování[4]

Lisování lze rozdělit na dvě skupiny a to za studena a za tepla:

#### **Za studena**

- prosté
- biaxiální
- izostatické (CIP)

#### **Za tepla**

- žárové lisování
- izostatické žárové lisování (HIP)

## 2.4 Sinterace

Hnací silou slinování je snižování mezipovrchové energie způsobené tím, že volný povrch volných keramických částic má větší energii, než mají hranice zrn ve slinuté keramice. Slinovací napětí (tlak) je úměrný podílu povrchového napětí a poloměru částice (póru).

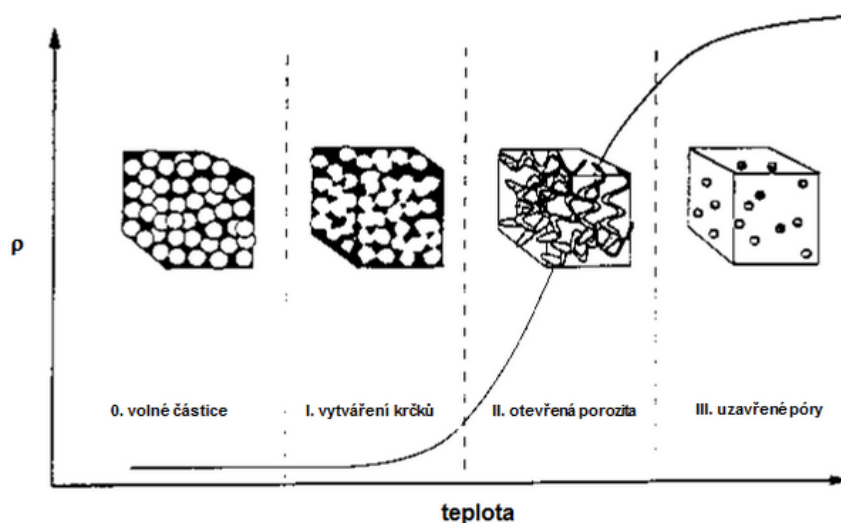
$$\sigma \sim \gamma / r \quad (7)$$

Protože rozdíl povrchového napětí volného povrchu keramiky a mezipovrchového napětí slinutých zrn je řádově  $1\text{J/m}^2$ , je slinovací napětí u struktur o rozměru  $1\mu\text{m}$  řádově v MPa, v případě částic o velikosti  $10\text{nm}$  je toto napětí už v řádu stovek MPa. [10]

Ani tak vysoká hnací síla by neměla žádný význam, kdyby neexistovaly cesty, jakými lze snížení energie realizovat. V případě slinování jsou takovými cestami viskózní



tok (uplatňuje se zejména u skel a polymerů), proces vypařování a kondenzace (uplatňuje se hlavně u látek s iontovou vazbou) a v případě pokročilých keramik je to zejména difúze. Podle cesty, kterou difúze probíhá, ji dělíme na difúzi povrchovou, objemovou a difúzi po hranicích zrn. Pro slinování jsou důležité difúze objemová a difúze po hranicích zrn, protože jen tyto přenášejí hmotu z oblasti krčků mezi částicemi do oblasti pórů a způsobují tak smršťování tělesa doprovázeného postupným zánikem pórů.[10]



Obr. 5: Fáze slinovacího procesu[10]

Difúze je tepelně aktivovaný proces, proto je ke slinování potřeba zvýšených teplot. V průběhu zahřívání slinované těleso prochází třemi fázemi (viz obr. 5).

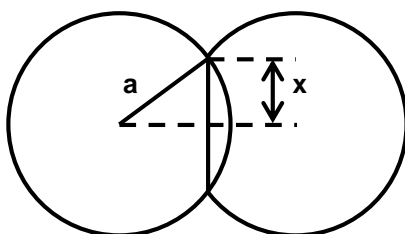
V první fázi se vytváří krčky mezi částicemi, čímž dochází ke zvýšení pevnosti tělesa, ale smrštění dosahuje jen několika procent. Ve druhé fázi (tzv. fázi otevřené pórovitosti) vznikají spojité kanály pórů, těleso je možné přirovnat k porézní houbě. Tyto kanálkovité póry smršťují ve svém poloměru a když těleso dosáhne asi 90% své teoretické hustoty (tzn., že póry tvoří už jen 10% objemu tělesa), dochází k zaškrcování pórů a těleso se dostává do třetí fáze slinování (tzv. fáze uzavřené pórovitosti).[10]

### 2.4.1 Modely slinovacího procesu

Modely kinetiky slinovacího procesu byly odvozeny zvlášť pro jednotlivé jeho fáze. Nejvíce modelů existuje pro první fázi slinování, nejstarší model byl odvozen J. Frenkelem. Modely první fáze slinování mají obecně tvar:

$$\frac{x^m}{a^n} = K \cdot t \quad (8)$$

kde  $x$  je poloměr krčku mezi částicemi (viz obr. 6),  $a$  poloměr částice,  $K$  konstanta úměrnosti,  $t$  čas a  $m$  a  $n$  jsou konstanty odrážející způsob transportu hmoty.



*Obr. 6: Geometrie dvoučásticového modelu slinování[10]*

Druhá fáze slinování bývá popisována modely vycházejícími z geometrie nepřekrývajících se válcových pórů a třetí vychází z geometrie pórů uzavřených na hranicích zrn.[10]

## 3. Tribologie

Tribologie je vědní disciplína, zabývající se souvislostmi mezi třením, opotřebením a mazáním. Můžeme ji také definovat jako vědu a technologii o vzájemném působení kontaktních povrchů při jejich relativním pohybu.

### 3.1 Tření

S účinky tření se každý člověk setkává denně. Bez tření by se část energie při probíhání děje nemohla přeměnit na tepelnou energii, bez tření by auta nemohla jezdit, lidé by nikam nemohli jít a zařízení by nefungovala.

#### 3.1.1 Smykové tření

Třením se rozumí odpor proti směru pohybu povrchů, které jsou v relativním pohybu. Obecně lze říci, že je nutné tření buď minimalizovat z důvodu ztrát a opotřebením anebo je tření nutno maximalizovat pro zvětšení třecích sil. V praxi je nejčastěji tření charakterizováno součinitelem tření  $\mu$  a třecí silou  $F_t$ . [11]

Podle vzájemné polohy třecích ploch dělíme:

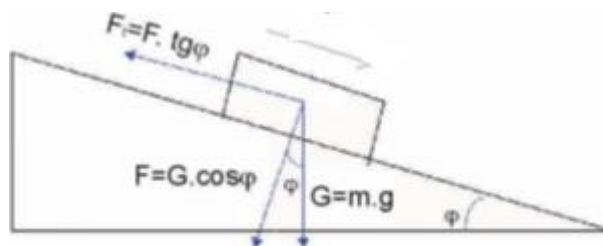
- 1) suché (kontaktní)
- 2) mezní (smíšené)
- 3) hydrodynamické (kapalné)

Toto dělení je platné pro různé druhy lubrikovaného tření a vychází z představy pevného ulpívání maziva na povrchu dotýkajících se těles. Podle teorie Reynolds dochází ke tření při vyšších rychlostech pouze ve vrstvách kapaliny. Tření a opotřebením je fyzikálně velmi úzce spojené. Z toho plyne, že snižování opotřebením s sebou nese důraz na snižování tření v systému kontaktních ploch. [11]

Tímto jevem se zabýval už od přelomu 15. a 16. století Leonardo da Vinci. Definoval tření jako odpor proti pohybu vznikající mezi dvěma tělesy v oblasti dotyku



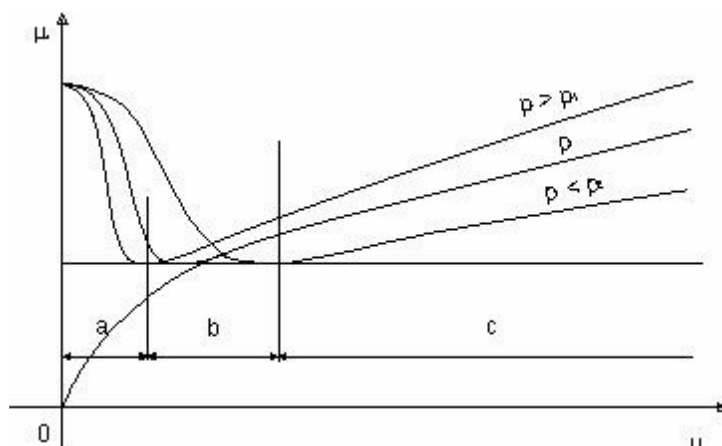
jejich povrchů, a to v tečném směru k nim. Z této definice je možné sestavit základní schéma pokusu pro zjištění statického  $\mu_s$  a kinematického  $\mu_k$  součinitele tření (obr.7).



Obr. 7: Silová rovnováha na nakloněné rovině[11]

Pro popis problémů a jejich pochopení spojených se třením, opotřebením a mazáním je důležité studium a identifikace jednotlivých druhů případů, které v praxi nastávají. Také v případě tření bez mazání se projevuje vliv adhezních povrchových vrstev, vznikající samovolně nebo záměrně. Během obrábění dochází plastickým přetvořením v povrchové vrstvě. Samovolně vznikají na povrchu oxidy, kondenzuje se vlhkost a absorbují se plyny. Při výrobě se na povrch dostává určité množství organických látek z řezných olejů a emulzí.[11]

V praxi se často setkáváme se smíšeným třením, kdy ke tření dochází za přítomnosti maziva za občasných dotyků povrchů vzájemnými nerovnostmi. Tento případ tření byl zájmem pokusů, které prováděl Stribeck a výsledkem jeho zkoumání byla závislost součinitele tření  $\mu$  na relativní rychlosti pohybu ploch  $u$ . [11]

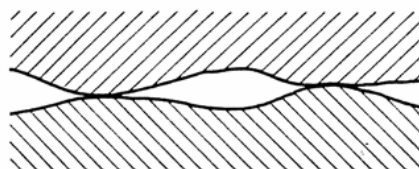


Obr. 8: Stribeckovy křivky závislosti součinitele tření  $\mu$  na rychlosti  $u$ [11]



Ze Stribeckových křivek (obr.8) je patrné, kdy tření kontaktní ( oblast a) přechází do smíšeného (oblast b) a posléze do hydrodynamického (oblast c).[11]

Kontaktní tření (obr. 9) nastává v případě, kdy se oba vůči sobě pohybující povrchy dotýkají. Toto tření může nastat prakticky jen ve vakuu. V praxi dochází ke tření v adhezních vrstvách. Vznik třecí síly je vysvětlován základními dvěma principy. Při difúzi atomů a molekul dotýkajících se povrchů dochází ke vzniku mikrosvarů a tím k adhezi molekulárním působením. Druhý princip vzniká zachytáváním mikronerovností povrchů, které může nastat i přes jiné částice, které se vmezeří mezi povrchy. Vlivem sil dochází ke vzniku plastických a pružných deformací tj. mechanickým působením, jehož následkem je abraze.[11]



Obr. 9: Kontaktní tření[11]

Při kapalném tření nedochází k dotýkání třecích ploch mazacím filmem, a proto nedochází prakticky k opotřebení. Třecí síla je potom dána lineárním vztahem (9). [11]

$$F_t = A \cdot \tau \quad (9)$$

Kde:  $A$  je plocha třecího povrchu

$\tau$  je tečné napětí v kapalině ( $\tau = \eta (du/dy)$ ).

Za předpokladu rovnoměrného rozdělení měrného tlaku  $p$  na stykové ploše je možno pro lineární rozložení rychlosti  $u$  určit součinitel tření  $\mu$  ze vztahu (10).[11]

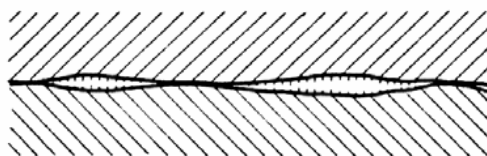
$$\mu = \eta \cdot \frac{u}{h \cdot p} \quad (10)$$

Kde:  $h$  - je tloušťka mezery

$p$  – měrný tlak na styk. ploše



Přechod mezi suchým a kapalným třením představuje smíšené tření (obr.10). Nastává tehdy, pokud je tloušťka maziva mezi povrchy menší než tloušťka potřebná k zajištění hydrodynamického mazání, ale větší než je tloušťka tenkého filmu, který zajišťuje mazání mezní. Tento druh tření je v praxi jeden z nejčastějších. Za přítomnosti maziva dochází k občasným dotykům povrchových nerovností. [11]



*Obr. 10: Smíšené tření[11]*

### 3.1.2 Mechanická teorie tření

Mechanické teorie tření vysvětluje tření jako odpor proti pohybu, který je způsoben tím, že je nutno pozvedávat pohybující se těleso do úrovně nejvyšších výčnělků podložky, po které se smýká. V místě přímého kontaktu může dojít k rytí výstupkem jedné plochy do plochy druhé. Při mnohonásobném opakování pružné deformace může nastat rozvoj povrchové únavové trhliny. Postupně tak dochází k uvolňování částic a tím i ke změně tvaru a rozměrů kontaktních ploch.[11]

Pokud jsou dvě dotýkající se tuhá tělesa v relativním pohybu, působí v místě styku odpor, označovaný jako síla vnějšího tření nebo stručně pouze tření. Poměr třecí síly  $F_t$  k normálové síle  $F_n$  je konstanta úměrnosti.[11]

$$\mu = \frac{F_t}{F_n} \quad (11)$$

označována jako součinitel tření  $\mu$ . Rovnice (11) je vyjádřením prvního zákona tření, znějícího: Velikost třecí síly je příměrná působícímu zatížení. Druhý zákon konstatuje, že velikost síly tření je nezávislá na celkové ploše společného kontaktu. Pro součinitel tření, který odpovídá poměru sil, jež uvedou těleso z klidu do pohybu, se zavádí označení statický součinitel tření  $\mu_s$ . Z měření vyplývá, že síla  $F_t$  udržující rovnoměrný, přímočarý pohyb je nižší než síla, kterou je nutno překonat při uvedení tělesa do pohybu. Toto tvrzení je možno vyjádřit nerovností. [11]





$$\mu_s > \mu_k \quad (12)$$

kde je  $\mu_k$  označován jako kinematický součinitel tření.

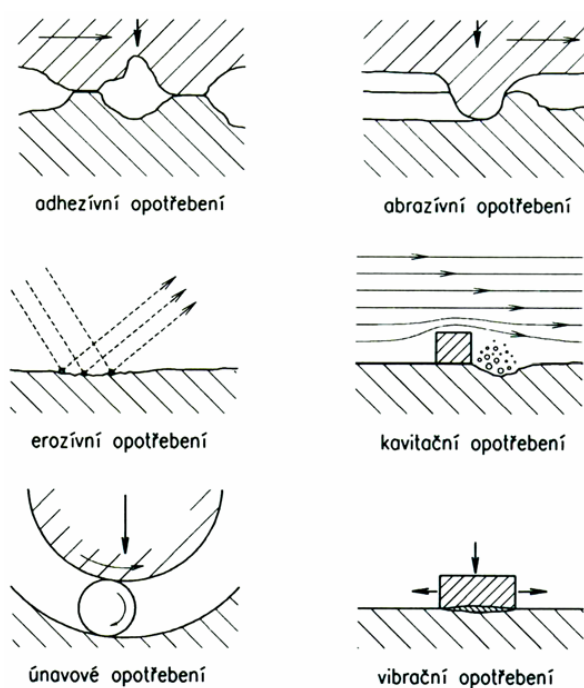
## 3.2 Otěr

Otěrem se rozumí trvalý úbytek materiálu. Dochází k nežádoucí změně povrchu nebo rozměrů částí třecí dvojice a to jak přímým působením povrchů, tak i působením mazacího média na povrch, jež opotřebení vyvolává. Jíž z předchozího je zřejmé, že při vzájemném relativním pohybu povrchů po sobě dochází v místě styku k pružné a plastické deformaci. Principem, který popisují teorie adheze a abraze, dochází k uvolňování částic materiálu. K opotřebení nedochází jen účinky mechanickými, ale i chemickými i elektrickými. Obecně lze rozdělit opotřebení na základní druhy (obr.11)[11]:

- a) **adhezivní** – tímto opotřebením se vnímá takové, při kterém dochází při dotyku povrchů k vlastnímu porušení povrchu vznikem mikrosvarů a jejich porušením. Částice materiálu jsou vytrhávány a uvolňovány do okolí. Výrazně se sníží přítomností maziva mezi povrchy.[11]
- b) **abrazivní** – nastává právě tehdy, když dochází k vrývání a řezání měkčího povrchu povrchem drsným a tvrdším. Stejný efekt nastává, pokud jsou mezi povrchy oddělené částice povrchu nebo částice nečistot. Při kontrole pohledem se velmi často projevuje rýhami na povrchu materiálu.[11]
- c) **erozivní** – k poškození povrchu dochází vlivem částic nebo také vlastním proudem tekutin dopadajících na povrch. Porušení se projevuje nerovnoměrným porušením povrchu, který je mnohdy též zvlněný.[11]
- d) **kavitační** – dochází k němu v oblasti vzniku kavitačních bublin v kapalině. Vlivem prodělení poklesne tlak pod hodnotu nasycených par za dané teploty dochází ke vzniku bubliny, která svým zánikem tvoří hydrodynamické rázy, jež namáhají povrch a dochází k vytrhávání částic materiálu.[11]

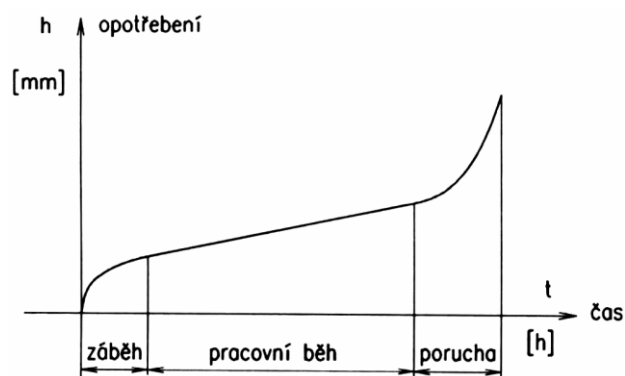


- e) **únavové tzv. pitting** – při cyklickém namáhání povrchových vrstev materiálu vznikají únavové trhliny, které se postupně šíří, spojují a dochází k postupnému uvolňování materiálu z povrchové vrstvy.[11]
- f) **vibrační** – u součástí, kde dochází k vibracím, tj. tam, kde při normálovém zatížení dochází ke kmitavým tečným pružným deformacím či tečným posuvům s malou amplitudou. Uvolňují se částice, které působí abrazivně a dochází i k poruchám velmi tvrdých povrchů. [11]



*Obr. 11: Základní druhy opotřebení[11]*

Obvykle nelze jednoznačně určit pouze jeden druh opotřebení, ale jedná se o kombinaci více procesů opotřebení. Důležité je charakterizovat proces opotřebení a stanovit podíl jednotlivých druhů opotřebení v daném procesu. Velikost opotřebení lze vyčíslit. Nejčastěji se popisuje pomocí tloušťky odebrané povrchové vrstvy v určitém místě objemem nebo hmotností odebrané hmoty z kluzného kontaktu. Opotřebení narůstá s časem. Rozpoznáváme tři etapy procesu opotřebení [11](obr.12).



Obr. 12: Nárůst opotřebení s časem při stálých podmínkách[11]

V první etapa představuje záběh, kdy dochází odstraňováním mikronerovností k zrovnoměrnění drsnosti materiálu. Opotřebení nejprve rychle narůstá, ale po čase se rychlost opotřebení snižuje. Druhá etapa je pracovní běh, kde opotřebení narůstá lineárně s časem. Snahou je proto v této etapě chodu součásti omezit opotřebení na minimum. Třetí etapa je obdobím do poruchy. Opotřebení začne progresivně narůstat. [11]

### 3.3 Vliv povrchu materiálu

Na povrchy výrobků jsou kladeny určité požadavky drsnosti, na základě funkčnosti daných ploch. Během výrobního procesu působí na plochy různé vlivy. Například dochází k plastické deformaci díky mechanickému a tepelnému působení, mění se tvrdost povrchové vrstvy a tím dochází ke vzniku makro - a mikrotrhlin na povrchu, apod. Drsnost má významný vliv na životnost a spolehlivost provozu součástí, jako je například přesnost chodu strojní součásti, jejich hlučnost, ztráty třením, přestup tepla, nebo odolnost proti opotřebení. Proto je výhodné drsnost povrchu funkčních ploch sledovat a vyhodnocovat naměřené parametry. Provádí se kontroly povrchu, jejichž cílem je jak vyřazení zmetků, tak především předcházení jejich vzniku. Kontrolují se různé parametry, ze kterých získáme popis geometrických a fyzikálních vlastností daného povrchu. [12]



## 3.4 Měření drsnosti povrchu

Měření struktury povrchu se řeší redukcí do roviny kolmé k povrchu. Tím je získán profil, ze kterého se získávají všechny základní parametry – jedná se o 2D metody. Dalšími metodami, kterými se mohou získat informace o nerovnosti povrchu, jsou 3D metody. Například bezdotykové hodnocení struktury povrchu. Mezi nejpoužívanější metody měření struktury povrchu patří metoda dotyková. Tato metoda umožňuje získávat hodnoty normalizovaných i nenormalizovaných charakteristik drsnosti povrchu.[12]

### 3.4.1 Metody měření drsnosti

- a) **Kvalitativní hodnocení** – je to hodnocení povrchu drsnosti lidskými smysly. Jedná se o porovnávání daného povrchu se vzorovými plochami hmatem, zrakem, příp. pomocí jednoduchých optických pomůcek. Spolehlivost při této metodě je omezena rozlišovací schopností lidských smyslů a fyzikálními vlastnostmi použitých pomůcek – např. mikroskopů. Rozlišovací schopnost při použití světelného mikroskopu je přibližně 1  $\mu\text{m}$ . Hmatem lze u dvou ploch obrobených stejným způsobem rozlišit rozdíl v drsnosti až  $R_a = 0,1\mu\text{m}$  [12]
- b) **Nepřímé kvantitativní měření** – při tomto způsobu měření se porovnává kontrolovaná plocha se vzorovou (etalonovou) komparačními měřidly. Výsledkem je rozdíl drsností porovnávaných povrchů. Do této skupiny měřidel patří mechanické komparátory - pro určení parametru  $R_a$ , pneumatické komparátory, elektrické komparátory a fotoelektrické komparátory. [12]
- c) **Dotykové profiloměry s postupnou transformací profilu** - principem tohoto měření je rovnoměrné posouvání měřícího doteku po kontrolovaném povrchu. Změny výšky měřícího hrotu, které jsou způsobeny nerovnostmi, jsou zaznamenávány v mnohonásobném zvětšení. Zařazují se zde měřidla s mechanickým, mechanicko-optickým a s mechanickopneumatickým převodem, dotykové profiloměry s mechanicko-elektrickým převodem, elektromagnetické

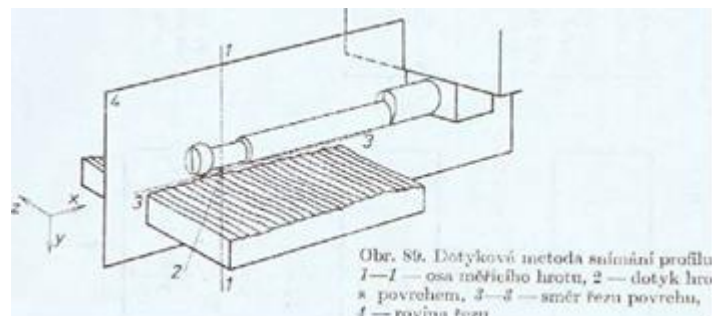


snímače, elektrodynamické snímače, piezoelektrické snímače, elektroinduktivní snímače a další. [12]

- d) **Bezdotykové profiloměry** – jedná se o fotoelektrické přístroje s laserem, interferenční metodu a jiné optické metody. [12]

### 3.4.2 Dotykový profilometr

Dotykový měřicí přístroj je dle normy ČSN EN ISO 3274 definován jako přístroj, který zkoumá dané povrchy snímacím hrotem a získává tím úchytky ve formě profilu povrchu, vypočítává parametry a je zároveň schopen tento profil zaznamenat. Mezi důležité části přístroje patří měřicí smyčka. Jedná se o uzavřený řetězec, který zahrnuje všechny mechanické části propojující měřený objekt a snímací hrot. Jsou to prostředek polohování, upínací přípravek, měřicí stojan, posuvová jednotka a snímací hlava. Tato smyčka je vystavena vnějším a vnitřním poruchám. Vliv na tyto poruchy má individuální nastavení měřicího zařízení, měřicí prostředí a uživatel, který přístroj obsluhuje. [12]



*Obr. 13: Zobrazení dotykové metody snímání profilu [12]*

Měřicí hroty: zda dojde při měření k zachycení celého tvaru nerovností až na dno největších prohlubní, závisí na geometrii hrotu (tj. na poloměru kulového zakončení hrotu a na jeho vrcholovém úhlu). Hrot má být přitlačován k povrchu takovou silou, aby při pohybu snímače byla jeho špička neustále ve styku s měřeným povrchem. Dle normy ČSN EN ISO 3274 je ideálním tvarem pro snímací hrot kužel s kulovou špičkou. Jeho jmenovitý poloměr zaoblení špičky je 2 $\mu$ m, 5 $\mu$ m nebo 10 $\mu$ m a úhel kužele je 60° nebo 90°.[12]

## 3.5 Termíny dle ČSN EN ISO 4287

### 3.5.1 Drsnost

Drsnost je soubor nerovností povrchu s relativně malou vzdáleností, které vznikají při výrobě, nepočítají se do ní vady povrchu. K hodnocení struktury povrchu se používají normalizované parametry, které jsou stanoveny pro dvourozměrné metody měření. Tyto parametry jsou dle normy ČSN EN ISO 4287 rozděleny do tří skupin. [12] Jsou to:

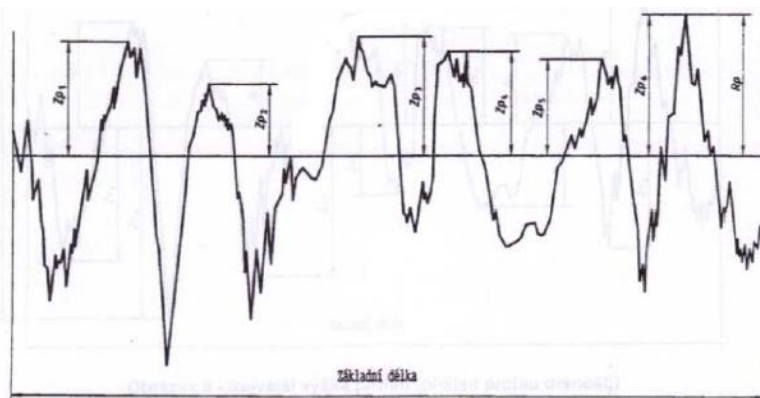
**P - parametry** – jsou parametry, které se vypočítají ze základního profilu

**R - parametry** – jsou parametry drsnosti, které se vypočítají z profilu drsnosti

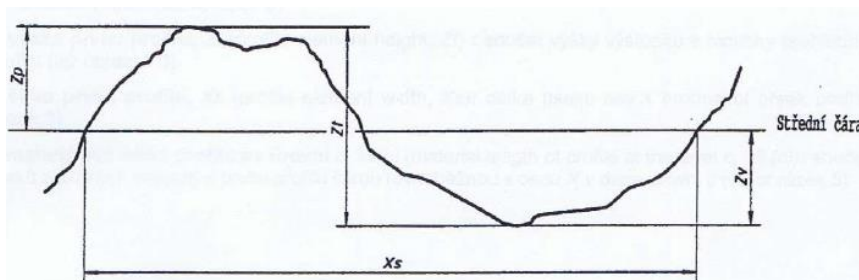
**W - parametry** – jsou parametry vlnitosti, které se vypočítají z profilu vlnitosti

### 3.5.2 R - parametry

**Největší výška výstupku profilu  $R_p$**  – je největší výška výstupků profilu  $Z_p$  v rozsahu základní délky  $l_r$ . Kde  $Z_p$  je definována jako vzdálenost mezi střední čarou a nejvyšším bodem výstupku profilu. [12]

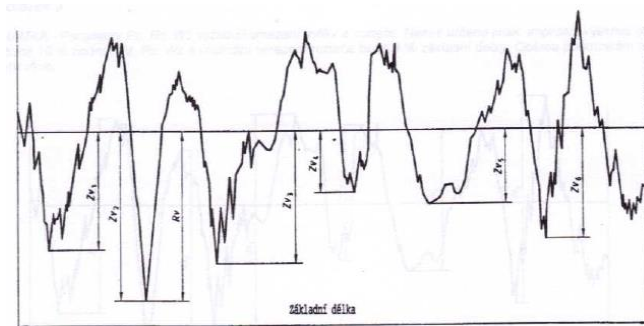


Obr. 14: Zobrazení nejvyšší výšky výstupků profilu drsnosti  $R_p$ [12]



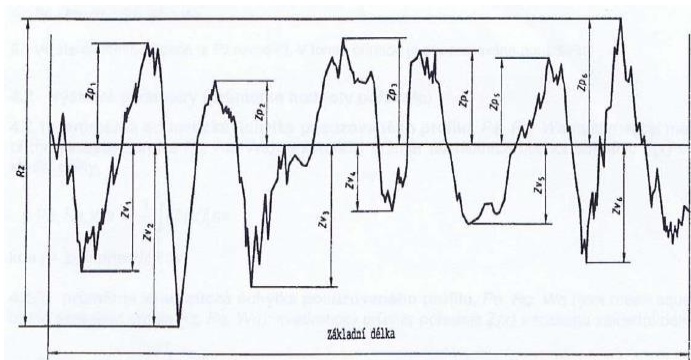
Obr. 15: Zobrazení prvku profilu[12]

**Největší hloubka prohlubně profilu  $R_v$**  – je délka  $Z_v$  nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky  $l_r$ . Kde  $Z_v$  je definována jako vzdálenost mezi střední čarou a nejnižším bodem prohlubně profilu a je zobrazena na obrázku 16. [12]



Obr. 16: Zobrazení největší prohlubně profilu drsnosti[12]

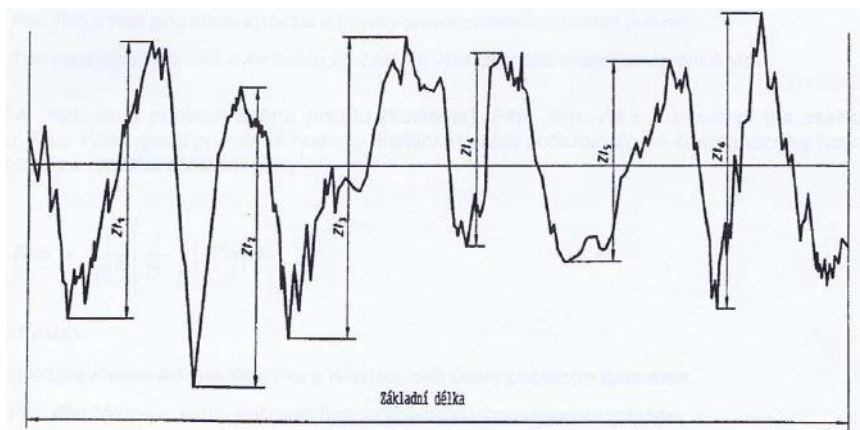
**Největší výška profilu  $R_z$**  – je součet nejvyššího výstupku  $Z_p$  a nejnižší prohlubně profilu  $Z_v$  v rozsahu základní délky  $l_r$ . [12]



Obr. 17: Zobrazení největší výšky profilu drsnosti[12]

**Průměrná výška prvků profilu  $R_c$**  – je průměrná hodnota výšek  $Z_i$  prvků profilu v rozsahu základní délky. Její hodnota je dána rovnicí (13) a výška prvku profilu  $Z_i$  je definována jako součet výšky výstupku a hloubky prohlubně prvku profilu.[12]

$$R_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{ti} \quad (13)$$



Obr. 18: Zobrazení výšek prvků profilu v rozsahu základní délky [12]

**Celková výška profilu  $R_t$**  – je součet nejvyššího výstupku profilu  $Z_p$  a nejnižší prohlubně profilu  $Z_v$  v rozsahu vyhodnocované délky  $l_n$ . [12]

Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu  $R_a$  – je aritmetický průměr absolutních hodnot všech pořadic  $Z(x)$  v rozsahu základní délky  $l_r$ . Úchylka se vypočítá dle rovnice (14). [12]

$$R_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad (14)$$

Geometricky se parametr  $R_a$  dá vyjádřit jako výška obdélníku sestrojeného na střední čáře, který má stejnou plochu jako nerovnosti profilu od střední čáry.  $R_a$  je výškový parametr, který udává střední hodnotu vzdáleností zkoumaného povrchu od střední čáry daného profilu. Jedná se pouze o statistickou hodnotu, a proto nemusí být vždy efektivní při hodnocení drsnosti povrchu. Například dva povrchy se stejnou hodnotou  $R_a$ , mohou mít zcela odlišný tvar profilu povrchu a také mohou mít rozdílné chování z hlediska funkčnosti, případně životnosti součásti. Je to způsobeno tím, že dle definice se při stanovení parametru  $R_a$  nerozlišuje mezi výstupky a prohlubněmi. Přesto je tento parametr jedním z nejpoužívanějších pro hodnocení drsnosti povrchu. Jeho měření je poměrně snadné a získané hodnoty vykazují značnou přesnost při opakovaném měření. [12]





**Průměrná kvadratická úchylka** posuzovaného profilu  $Rq$  – je kvadratický průměr pořadic  $Z(x)$  v rozsahu základní délky  $l_r$  dle rovnice (15). [12]

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z^2(x)| dx} \quad (15)$$

**Šikmost posuzovaného profilu  $Rsk$**  – je podíl průměrné hodnoty třetích mocnin pořadic  $Z(x)$  a třetí mocniny průměrné kvadratické úchylky profilu  $Rq$  v rozsahu základní délky  $l_r$ . Je dána rovnicí (16). [12]

$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \left[ \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z^3(x)| dx \right] \quad (16)$$

**Špičatost posuzovaného povrchu  $Rku$**  – je podíl průměrné hodnoty čtvrtých mocnin pořadic  $Z(x)$  a čtvrté mocniny průměrné kvadratické úchylky profilu  $Rq$  v rozsahu základní délky  $l_r$ . Špičatost je dána rovnicí (17). [12]

$$R_{ku} = \frac{1}{R_q^4} \left[ \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z^4(x)| dx \right] \quad (17)$$

**Průměrná šířka prvků profilů  $RSm$**  – je aritmetický průměr šířek  $X_s$  prvků profilu v rozsahu základní délky  $l_r$ . Průměrná šířka je dána rovnicí (18), kde šířky prvků  $X_s$  posuzovaného profilu jsou délky úseků osy  $X$  protínající prvek profilu (viz obr. 14). [12]

$$R_{Sm} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{Si} \quad (17)$$

**Průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu  $R\Delta q$**  – jedná se o tvarový parametr, který je definován jako kvadratický průměr sklonu pořadic  $dZ/dx$  v rozsahu základní délky  $l_r$ . [12]



**Materiálový poměr profilu (neboli nosný podíl)  $Rmr(c)$**  – je poměr materiálové délky profilu  $MI(c)$  na dané úrovni  $c$ , ku vyhodnocované délce  $l_n$ . Tento poměr je dán rovnicí (18), kde  $MI(c)$  je definován jako součet délek úseků, které jsou získány protnutím prvků profilu rovnoběžkou s osou  $X$  na dané úrovni  $c$ . [12]

$$Rmr(c) = \frac{MI(c)}{l_n} \quad (18)$$

**Rozdíl výšky úseku profilu  $R\delta c$**  – jedná se o svislou vzdálenost mezi úrovněmi dvou úseků daného materiálového poměru. Její hodnota je dána rovnicí (19), kde platí, že  $Rmr1 < Rmr2$  [12]

$$R\delta c = C(Rmr1) - C(Rmr2) \quad (19)$$

**Výška nerovnosti z deseti bodů  $Rz$**  – je střední hodnota z absolutních hodnot výšek pěti nejvyšších výstupků profilu a hloubek pěti nejnižších prohlubní profilu v rozsahu základní délky  $l_r$ . Parametr  $Rz$  se získá z rovnice (20). [12]

$$R_z = \frac{\sum_{i=+}^5 |y_{pmi}| + \sum_{i=+}^5 |y_{vmi}|}{5} \quad (20)$$

Kde parametr  $y_{pmi}$  je výška  $i$ -tého nejvyššího výstupku daného profilu a  $y_{vmi}$  je hloubka  $i$ -té nejnižší prohlubně daného profilu. Výška nerovnosti z deseti bodů  $Rz$  je parametr, který již není uveden v normách, ale stále se používá k vyhodnocování drsnosti povrchu. Ekvivalent k parametru  $y_{pmi}$  dle normy ČSN EN ISO 4287 je parametr  $Z_p$  a parametr  $y_{vmi}$  je v této normě pak označením  $Z_v$ . [12]



### 3.6 Měření lesku

Stupeň lesku lze definovat jako poměr mezi intenzitou dopadajícího záření a záření odraženého. V případě lesklých povrchů se dopadající světlo z daného předmětu odráží v jednom směru. Měření lesku je založeno na měření intenzity odraženého záření podél různé geometrie (u většiny přenosných přístrojů je geometrie nastavitelná na hodnoty 20°, 60° a 85°).[13]

Stupeň lesku je vyjadřován v jednotkách lesku GU. Hodnota 100 GU odpovídá standardu z černého lesklého skla o indexu lomu 1,567. Hodnoty GU tedy nejsou v procentech. V případě měření vysoce lesklých materiálu s vyšším indexem lomu než skleněný standard je možno dosáhnout hodnoty GU až 2000.[13]

Pro běžné užití je doporučeno užít geometrii 60°, která by měla poskytovat hodnoty lesku od 10 - 70 GU. Pokud přesahuje lesk 70 GU je doporučeno užít geometrii 20° a naopak pokud v případě matných povrchů s leskem nižší než 10GU je vhodné použít geometrii 85°.[13]

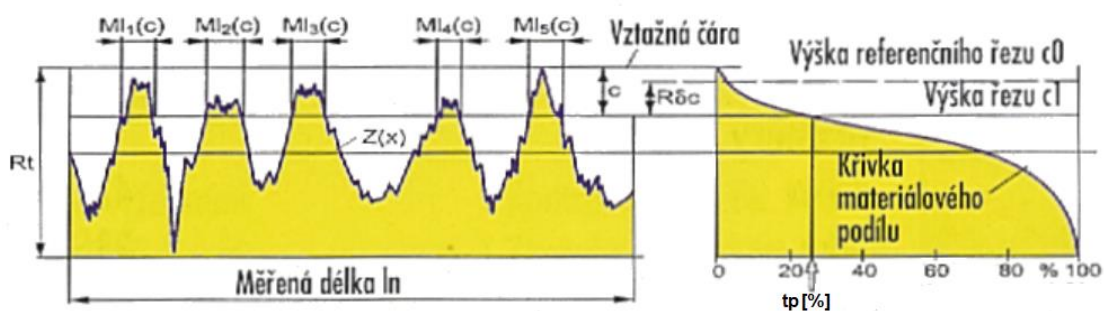


# EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

## 4.1 Měření Rmr - „lesk“

Ve firmě Coorstek s.r.o nepoužívají měření lesku tak jak je popsáno v kapitole 3.6, ale metodou určení materiálového podílu Rmr(c) optickou metodou na mikroskopu Leica DFC 280. Princip měření Rmr(c) pomocí dotykového profilometru je již popsán v kapitole 3.5.1.

Výška profilu  $c$ , kde dochází k součtu materiálových ploch je této metody je specifikována vlnovou délkou světla vyzařované žárovkou v mikroskopu  $0,06 \mu\text{m}$ . V počítačovém programu QWIN je obraz povrchu vzorku při 150x zvětšení je oskenován a následně vyhodnocen. Poměr součtu světlých ploch ku součtu tmavých ploch pak dává hodnotu  $tp$  [%].



Obr. 19: Křivka materiálového podílu drsnosti povrchu[14]

Protože se povrch materiálu s vysokým  $tp$  [%] jeví na pohled lesklý, je ve firmě slovní spojení „měřit lesk“ nazývána tato metoda měření materiálového podílu. Coorstek Turnov jakožto keramický závod pod vedením amerického vlastníka používá pro hodnotu  $tp$  oficiálně název bearing ratio. V diplomové práci je hodnota „lesku“ měřena právě touto metodou. V následujícím textu je tato hodnota označována zkratkou BR.

## 4.2 Použité materiály a zařízení

### 4.2.1 Keramické materiály

Firma Coorstek s.r.o používá ve své výrobě mnoho druhů keramických materiálů, největší míře jsou to materiály na bázi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a  $\text{ZrO}_2$ .

V diplomové práci jsou testy prováděny na výrobcích a vzorcích z následujících materiálů.

*Tab. 4: Přehled použitých materiálů*

Název	T 195 NS	ADR – 96	P 172 SDP
Výrobce	Nabaltec AG	Coorstek US	Alteo
Obsah $\text{Al}_2\text{O}_3$ [%]	95	96	99,8
Příloha č.	1	2	3

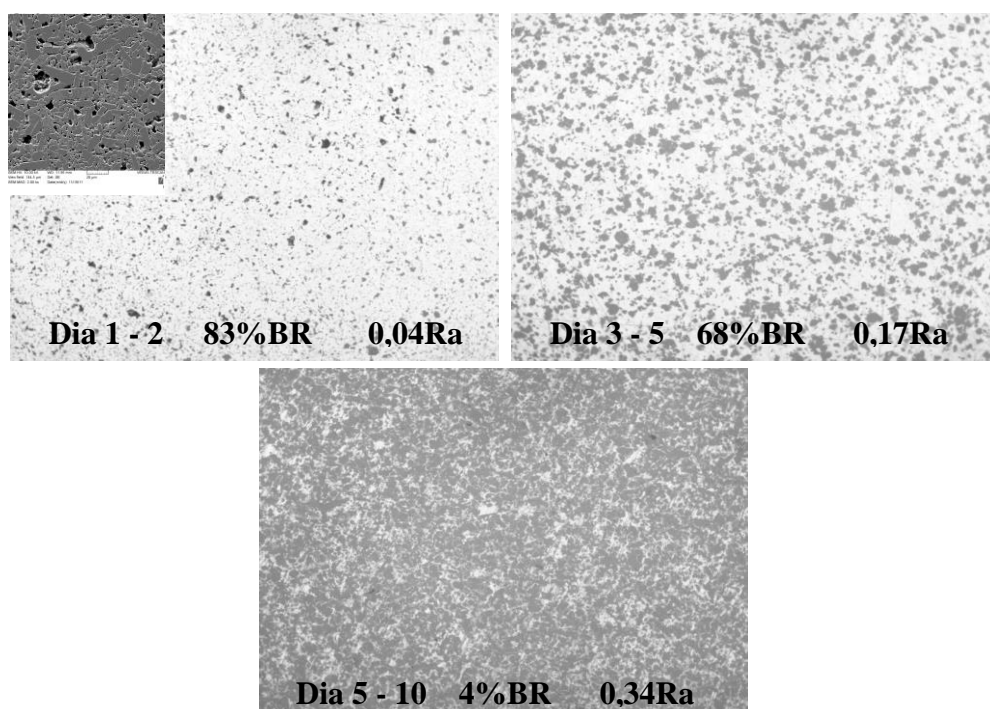
### 4.2.2 Leštící suspenze

V diplomové práci byly použity následující diamantové suspenze:

- A:** zrnitost **1 – 2**  $\mu\text{m}$                       dodavatel: UK - Abrasive
- B:** zrnitost **3 - 5**  $\mu\text{m}$                       dodavatel: EID
- C:** zrnitost **5 – 10**  $\mu\text{m}$                       dodavatel: EID

Diamant je dodáván ve formě prášku, je tedy nutné pro proces leštění diamantový prášek náležitě připravit. Diamantové suspenze jsou připravovány rozmícháním 14,8 g diamantového prášku v 1,8 l olivového oleje. Takto vzniklá suspenze je pak používána v procesu leštění. Na obrázku (obr.č. 20) je zobrazena výledná kvalita povrchu destičky RO 2302 z materiálu T 195 NS po leštění jednotlivými suspenzemi.





*Obr. 20: Leštěný povrch keramické destičky RO 2302 (zvětšení 150×)*

### 4.2.3 ProfiPress 60 T

K lisování vzorků pro experiment v kapitole 4.4 a 4.5 byl použit laboratorní ProfiPress 60T. Tlak ve válci je vyvozován hydraulickou pumpou buď motorem nebo ručně. Pro přepočet tlaku v dutině formy působící na granulát byl vytvořen jednoduchý excelovský list, použitelný i pro budoucí lisování vzorků jak průřezu kruhového, nebo čtvercového ale i šestihranného. Přepočet tlaků je uveden v tabulce č. 5, přičemž průměr matrice byl 33,26 mm. Tlak ve válci je pak sledován pomocí manometru. Další vlastnosti lisu jsou uvedeny v příloze č. 4.



Obr. 21: Profipress 60 T

#### **Postup:**

1. Ventilem povolit píst spodního razníku.
2. Nasypat granulát do dutiny formy a zarovnat.
3. Zavřít bezpečnostní dvířka a spustit lis.
4. Pomocí ovládací páky sjet rychlým posuvem nad matici.
5. Pomocí ovládací páky pomalým posuvem lisovat podle vypočtené hodnoty tlaku.
6. Pomocí ovládací páky vyjet horním razníkem z formy.
7. Ventilem uzavřít píst spodního razníku.
8. Pumpovat pákou, přičemž spodní razník vyjždí z dutiny formy, pak lze odebrat vzorek.

Tab.č.5: Přepočtené tlaky pro experimenty v kapitole 4.4 a 4.5

Tlak v dutině formy p [MPa]	Tlak ve válci p' [bar]
55	25,6
80	34,6
110	45,5
120	49,1
136	54,9
160	63,6
170	67,2
248	95,4

#### **4.2.4 Mikroskop Leica DFC280**

Na tomto optickém mikroskopu bylo měřeno velikost materiálového podílu Rmr - Bearing ratio (BR). K mikroskopu je připojen počítač s programem QWIN, který vyhodnocuje získaný obraz a kde odečítáme hodnotu BR





*Obr. 22: Mikroskop Leica DFC 280*

#### **Postup:**

1. Na počítači spustit příslušný program s podprogramem pro tři nebo pět měření.
2. Na stolek mikroskopu umístit zkoumaný vzorek .
3. Zaostřovacím kolečkem zaostřit obraz podle monitoru počítače.
4. Po zaostření postupujeme dále podle pokynů programu a následně získáme jednu hodnotu BR.
5. Stejný vzorek měřit podle bodů 3 a 4 na různých místech pětkrát nebo třikrát (podle zvoleného podprogramu).
6. Z monitoru počítače odečíst průměrnou hodnotu BR.

### **4.2.5 Hommel Tester T 500**

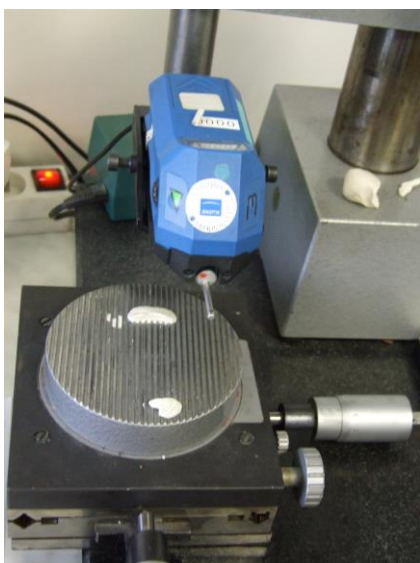
Pomocí tohoto přístroje je ve firmě Coorstek měřena drsnost povrchu Ra vzorků dle ČSN ISO 3274. Tento dotykový profilometr je připojen k počítači, je tu tedy možnost získat měřicí protokol nebo ovládat přístroj počítačem. Pro měření v této diplomové práci však počítač nebyl využit, hodnoty byly odečítány přímo na přístroji. Další vlastnosti přístroje jsou uvedeny v příloze č.5.

Důležité nastavené hodnoty:

- Typ snímače: T5E
- Měřicí rozsah : 80  $\mu\text{m}$
- Snímaná dráha Lt : 4.8 mm
- Lc ( Cut off): 0,8 mm
- Filtr: ISO 11562(M1)







Obr. 23: Hommel tester T500

#### **Postup:**

1. Spustit přístroj.
2. Na desku pečlivě umístit měřený vzorek, pro zamezení pohybu lze zajistit vzorek pomocí plastelíny.
3. Do přístroje upnout správný měřicí hrot.
4. Přístroj umístit nad vzorek tak aby se hrot dotýkal povrchu měřeného vzorku.
5. Spustit měření a z displeje odečíst hodnotu Ra.
6. Prstem nadzvednout rameno s hrotem, pootočit vzorkem, následně na tomto novém místě opakovat měření.
7. Podle zvoleného počtu měření (3x – 5x) ukončit měření.

### **4.2.6 Měření krouticího momentu – TMV3**

Pro sledování změn krouticích momentů mezi dvěma keramickými destičkami byl použit tento přístroj od firmy at2e. Přístroj je připojen k počítači, kam se zaznamenávají naměřená data. Umožňuje výměnu upínacích přípravku a dovoluje tedy měřit nejrůznější typy vzorků (jednoduché destičky v případě této práce, kartuše vodovodních baterií atd.)








Obr. 24: přístroj TMV 3

#### **Postup:**

1. Na ovládacím panelu nastavit požadované hodnoty (úhel rozevření, četnost záznamu, počet cyklu...). Spustit příslušný program v počítači.
2. Do spodního nepohybujícího přípravku upnout keramickou destičku.
3. Do horního pohybujícího přípravku upnout druhou keramickou destičku.
4. Na spodní destičku nanést slabou vrstvu mazadla.
5. Posuvem sjet ke spodní destičce.
6. Spustit měření .



#### 4.2.7 Další zařízení použita v diplomové práci

	<p>Lisování výrobků</p> <p>Lisy Doorst 4 – 100 T, Lisovací adaptéry, Tvrdokovové nástroje</p>
	<p><b>Výpal vzorků:</b> Tunelová pec FT 24, FT 25</p> <p>teplota: 1570°C rychlost posuvu: 0,57 ms<sup>-1</sup> doba výpalu: cca 22h</p>
	<p><b>Rovinné broušení v šablonách volným zrnem:</b> Peter Walters AC 1200</p> <p>Používána zrnitost diamantu: 20 – 25 μm Přítlačná síla: 5 kN</p>
	<p><b>Rovinné planetární leštění v šablonách volným zrnem:</b> Leštička SPDFM 32</p> <p>Přítlačná síla: 3 bary</p>
	<p><b>Vážení, detekce OH po výpalu (F.D):</b> Laboratorní váhy Metler Toledo AG 204</p> <p>Max = 210g Min = 10 mg e = 1 mg d = 0,1 mg princip: Archimedova metoda</p>

obr. 25: Další vybraná zařízení



### 4.3 Závislost kvality povrchu na použitém typu diamantové suspenze

#### Cíl experimentu:







Úkolem tohoto experimentu je sestavit závislost drsnosti povrchu charakterizované parametrem Ra a BR „lesk“ na zrnitosti diamantových suspenzí s ohledem na typ výrobku.

#### Postup:

Keramické vzorky viz tab. 6 byly po rovinném broušení (Ra 0,5 – 0,7  $\mu\text{m}$ ) na zařízení Peter Walters AC 1200 (obr. 25) vyleštěny na stroji SPDFM 32 (obr. 25) třemi dostupnými leštícími suspenzemi.

BR bylo detekováno pomocí mikroskopu Leica DFC280 (obr. 22), na kterém byla u každého vzorku zjištěna průměrná hodnota z pěti měření. Získané hodnoty byly zaznamenány do tabulek č. 7, 8 a 9. Následovalo měření drsnosti Ra pomocí profilometru Hommel T500, kde i zde bylo 5 hodnot zjištěných na různých částech vzorku zaznamenáno do tabulky č. 7, 8 a 9.

*Tab. 6: Keramické výrobky pro experiment v kapitole 4.3*

Typ výrobku	Materiál		Typ výrobku	Materiál	
RO 2302	T 195 NS		RO 2341	T 195 NS	
RO 2265	T 195 NS		RS 0031	ADR – 96	
RO 2342	T 195 NS		RS 0003	P172SDP	



Tab. 7: Tabulka hodnot BR a Ra pro diamantovou směs o zrnitosti 1 – 2  $\mu\text{m}$

název	RO 2302		RO 22 65		RO 2342		RO 2341		RS 0031		RS 0003	
materiál	T 195 NS		T 195 NS		T 195 NS		T 195 NS		ADR - 96		P172 SDP	
diamant	1 - 2		1 - 2		1 - 2		1 - 2		1 - 2		1 - 2	
měření	BR	Ra	BR	Ra	BR	Ra	BR	Ra	BR	Ra	BR	Ra
	[%]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	[ $\mu\text{m}$ ]
1	83,65	0,06	69,86	0,04	75,83	0,06	83,95	0,03	91,69	0,03	95,58	0,02
2	85,39	0,05	70,09	0,06	75,08	0,06	81,5	0,06	92,09	0,02	93,97	0,01
3	83,2	0,02	71,62	0,13	75,78	0,07	88,99	0,05	91,61	0,07	95,88	0,02
4	81,64	0,06	71,36	0,09	73,74	0,05	89,09	0,03	92,27	0,02	94,89	0,02
5	83,59	0,05	72,65	0,06	74,65	0,07	86,54	0,04	91,65	0,04	93,89	0,01
6	82,58	0,06	70,23	0,05	74,24	0,08	83,41	0,06	92,58	0,02	95,68	0,02
7	84,21	0,03	71,49	0,07	75,89	0,06	88,59	0,04	91,14	0,03	94,56	0,01
8	83,75	0,02	70,74	0,09	74,55	0,05	87,12	0,05	91,78	0,05	96,42	0,02
9	82,75	0,06	70,21	0,07	74,97	0,07	86,87	0,03	91,47	0,04	93,98	0,01
10	84,32	0,05	69,12	0,09	75,86	0,05	83,14	0,03	92,45	0,05	95,78	0,01
průměr	84	0,05	71	0,08	75,1	0,06	85	0,04	91,9	0,04	95,1	0,02
s	1	0,02	1	0,03	0,8	0,01	3	0,01	0,5	0,02	0,9	0,01

Tab. 8: Tabulka hodnot BR a Ra pro diamantovou směs o zrnitosti 3 – 5  $\mu\text{m}$

název	RO 2302		RO 22 65		RO 2342		RO 2341		RS 0031		RS 0003	
materiál	T 195 NS		T 195 NS		T 195 NS		T 195 NS		ADR - 96		P172 SDP	
diamant	3 - 5		3 - 5		3 - 5		3 - 5		3 - 5		3 - 5	
měření	BR	Ra	BR	Ra	BR	Ra	BR	Ra	BR	Ra	BR	Ra
	[%]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	[ $\mu\text{m}$ ]
1	66,37	0,15	71,51	0,11	57,45	0,20	60,52	0,14	82,63	0,05	79,84	0,03
2	70,55	0,22	73,65	0,14	58,63	0,19	65,41	0,15	82,41	0,05	79,56	0,02
3	67,83	0,14	71,25	0,14	61,14	0,24	65,47	0,16	84,64	0,12	84,61	0,04
4	68,21	0,16	71,65	0,13	61,98	0,14	72,38	0,21	83,25	0,05	79,63	0,02
5	65,97	0,2	72,78	0,14	59,66	0,18	69,44	0,20	83,78	0,06	80,57	0,03
6	66,87	0,15	74,54	0,15	58,91	0,17	67,36	0,18	85,97	0,06	80,96	0,02
7	67,84	0,14	72,14	0,16	60,72	0,16	68,74	0,14	86,23	0,10	79,33	0,03
8	69,87	0,18	71,43	0,14	58,45	0,24	69,61	0,17	85,89	0,07	83,45	0,04
9	70,14	0,2	73,69	0,13	60,34	0,24	65,78	0,15	82,13	0,08	84,12	0,04
10	68,42	0,14	72,23	0,13	57,35	0,14	66,75	0,16	86,47	0,09	82,45	0,02
průměr	68	0,17	72	0,14	59	0,19	67	0,17	84	0,07	81	0,03
s	2	0,03	1	0,01	2	0,04	3	0,02	2	0,02	2	0,01



Tab. 9: Tabulka hodnot BR a Ra pro diamantovou směs o zrnitosti 5 – 10  $\mu\text{m}$

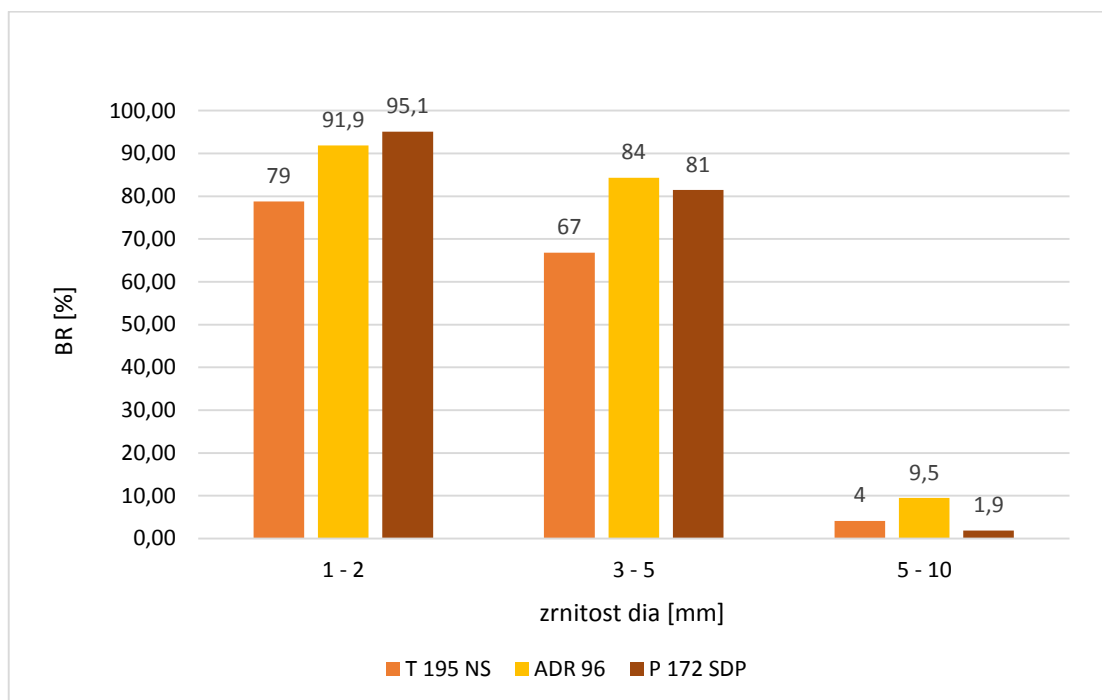
název	RO 2302		RO 22 65		RO 2342		RO 2341		RS 0031		RS 0003	
materiál	T 195 NS		T 195 NS		T 195 NS		T 195 NS		ADR - 96		P 172 SDP	
diamant	5 - 10		5 - 10		5 - 10		5 - 10		5 - 10		5 - 10	
měření	BR	Ra	BR	Ra	BR	Ra	BR	Ra	BR	Ra	BR	Ra
	[%]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	[ $\mu\text{m}$ ]
1	3,85	0,29	4,54	0,29	2,87	0,32	2,24	0,35	9,15	0,19	1,24	0,14
2	3,56	0,38	5,83	0,37	3,95	0,38	2,19	0,34	9,31	0,18	1,23	0,14
3	5,47	0,36	5,85	0,33	4,51	0,37	5,83	0,33	9,87	0,16	1,78	0,15
4	4,85	0,32	4,28	0,40	4,99	0,34	5,14	0,40	9,36	0,17	2,36	0,16
5	4,32	0,34	4,21	0,35	4,84	0,36	4,64	0,42	9,14	0,18	2,58	0,17
6	3,25	0,39	5,45	0,27	3,65	0,32	4,47	0,34	9,89	0,17	1,99	0,13
7	3,74	0,29	4,53	0,36	2,98	0,37	4,32	0,25	9,12	0,16	2,76	0,15
8	3,99	0,35	5,27	0,37	2,41	0,34	2,98	0,36	9,52	0,16	1,63	0,16
9	3,12	0,34	4,12	0,38	3,26	0,35	4,25	0,35	9,68	0,18	1,14	0,14
10	4,01	0,32	4,78	0,29	3,11	0,37	3,62	0,34	9,73	0,19	1,75	0,17
průměr	4,1	0,34	4,8	0,34	3,6	0,35	4	0,35	9,5	0,17	1,9	0,15
s	0,7	0,03	0,6	0,04	0,9	0,02	1	0,04	0,3	0,01	0,6	0,01

Z těchto naměřených dat byly stanoveny průměrné hodnoty v tabulce č. 10, ze kterých byly zkonstruovány grafy č. 1 a č. 2. Hodnoty BR a Ra pro T 195 NS jsou vypočítány ze všech výrobků z tohoto materiálu.

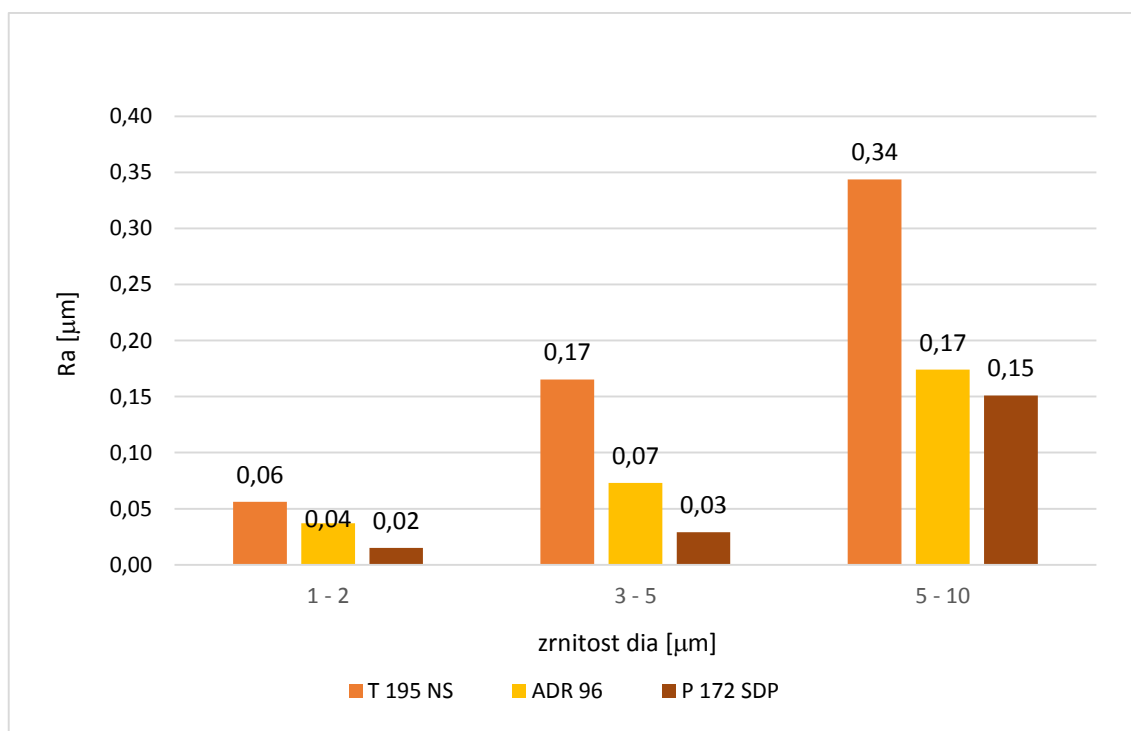
Tab. 10: Průměrné hodnoty měření

materiál	T 195 NS				ADR - 96				P172 SDP			
diamant	BR [%]	s	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	s	BR[%]	s	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	s	BR [%]	s	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	s
1 - 2	79	6	0,06	0,02	91,9	0,5	0,04	0,02	95,1	0,9	0,02	0,01
3 - 5	67	5	0,17	0,03	84	2	0,07	0,02	81	2	0,03	0,01
5 - 10	4	1	0,34	0,04	9,5	0,3	0,17	0,01	1,9	0,6	0,15	0,01



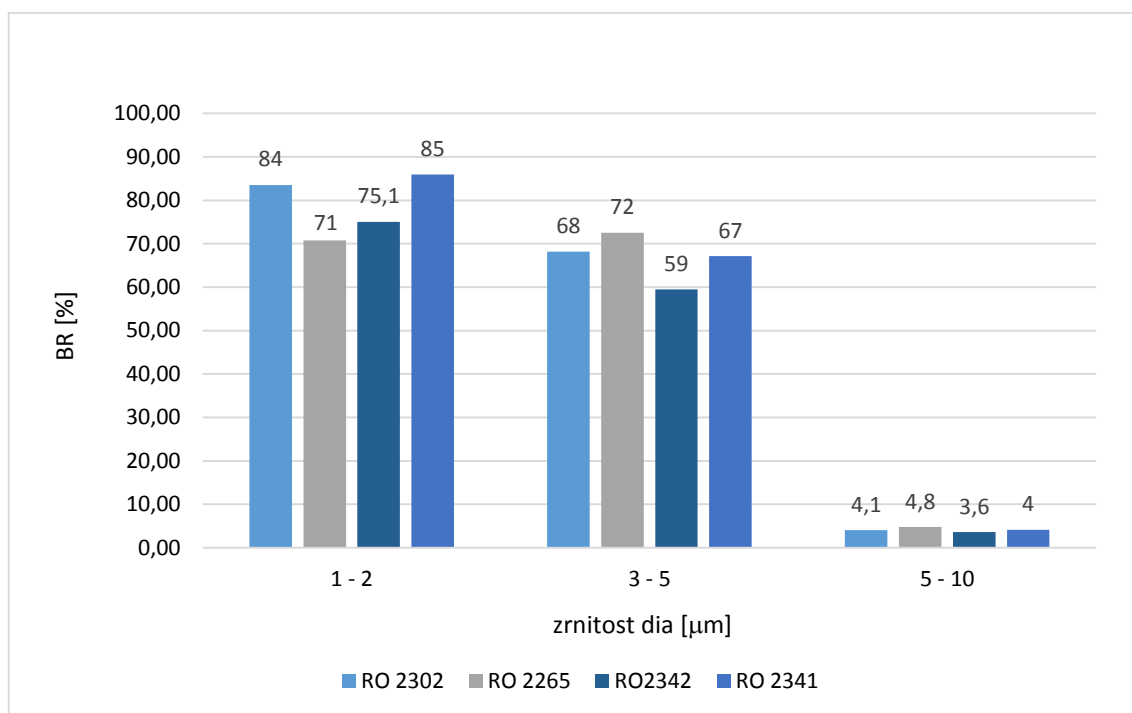


Graf 1: Hodnoty BR v závislosti na zrnitosti diamantu

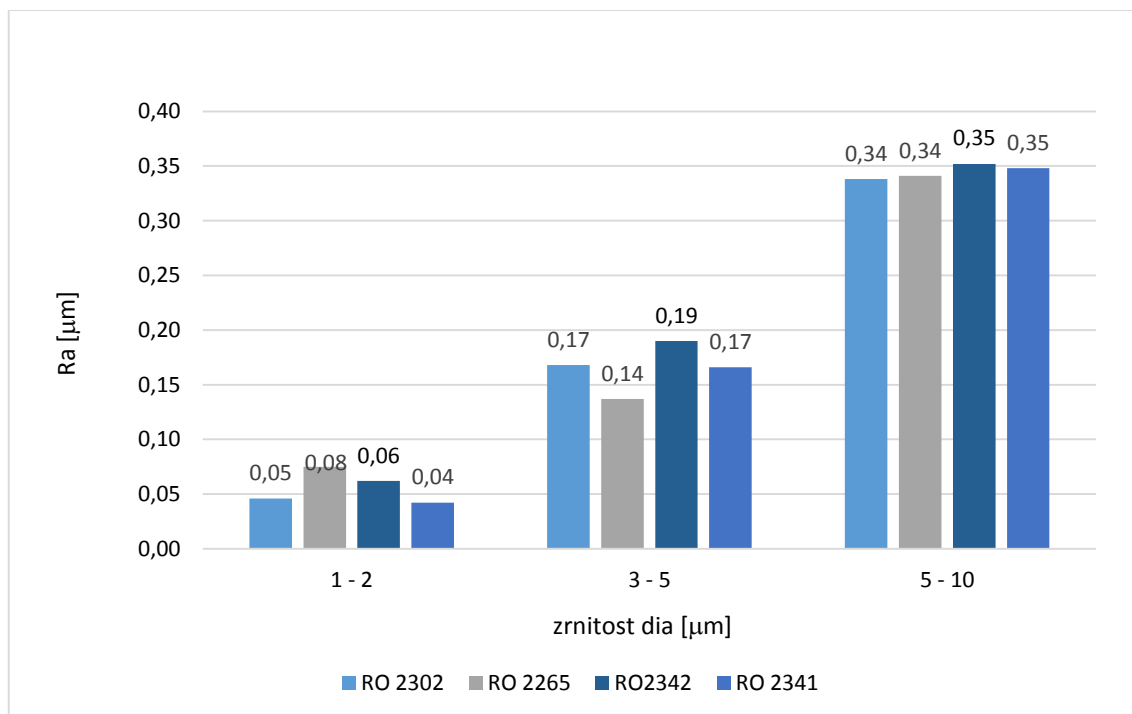


Graf 2: Hodnoty drsnosti povrchu Ra na zrnitosti diamantu





Graf 3: Hodnoty BR pro výrobky z T195 NS



Graf 4: Hodnoty Ra pro výrobky z T 195 NS



### **Závěr:**

1. Ze získaných výsledků lze konstatovat, že vyšší hodnotu BR a nižší drsnost Ra získáme při použití diamantu jemnější zrnitosti a při použití materiálu s vyšším obsahem  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .
2. Z výsledných závislostí je patrné, že pro získání požadovaného BR a drsnosti Ra podle výkresu zákazníků, kteří požadují BR cca. 75% a Ra max 0,25  $\mu\text{m}$ , je nutné použít diamantové suspenze zrnitostí 1 – 2 nebo 3 – 5 a materiálu s min. obsahem 96%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .
3. Z porovnání hodnot BR pro materiál T195 NS je patrné, že hodnota BR není pro jednotlivé výrobky stejná, důvodem je použití různé šarže materiálu a různá prolisovatelnost výrobků.

## **4.4 Závislost kvality povrchu na lisovacím tlaku pro materiál T195 NS**

### **Cíl experimentu:**

Nalezení optimálního lisovacího tlaku charakterizovaného hustotou výlisku (G.D) pro daný typ materiálu s ohledem na výslednou hustotu výpalku (F.D), drsnosti povrchu Ra a BR.

### **Postup Měření:**

V tomto testu byl použit napovlakovaný materiál T 195 NS šarže 12 208. Lisování materiálu proběhlo pod tlaky 55, 80, 110, 136, 170 a 248 MPa na lise ProfiPress 60 T, vyrobilo se celkem 36 vzorků. Tyto vzorky byly podrobeny měření rozměru a hmotnosti m. Z těchto hodnot je vypočítána hodnota hustoty G. D podle rovnice (21).

$$G.D = \frac{m}{V} = \frac{m}{\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h} [\text{gcm}^{-3}] \quad (21)$$





Následně byly vzorky vypáleny v průběžné peci FT 24 (obr. 25) při teplotě 1570°C. Po ukončení výpalu proběhlo měření rozměrů pomocí posuvného měřidla a hmotnosti  $m_2$ . Smrštění po výpalu je vypočteno podle rovnice (22) a úbytkem hmotnosti podle rovnice (23), dále byly změřeny hodnoty hustoty po výpalu  $F.D$  na vahách Mettler Toledo (obr. 23).

$$\text{smrštění výšky} = \frac{h}{h_2} [1] \quad (22)$$

$$\text{smrštění průměru} = \frac{d}{d_2} [1]$$

$$\delta hm = 100 \cdot \frac{m - m_2}{m} [\%] \quad (23)$$

Tyto vzorky prošli procesem rovinného broušení a následně leštění, kde byla použita diamantová suspenze o zrnitosti 3 – 5.

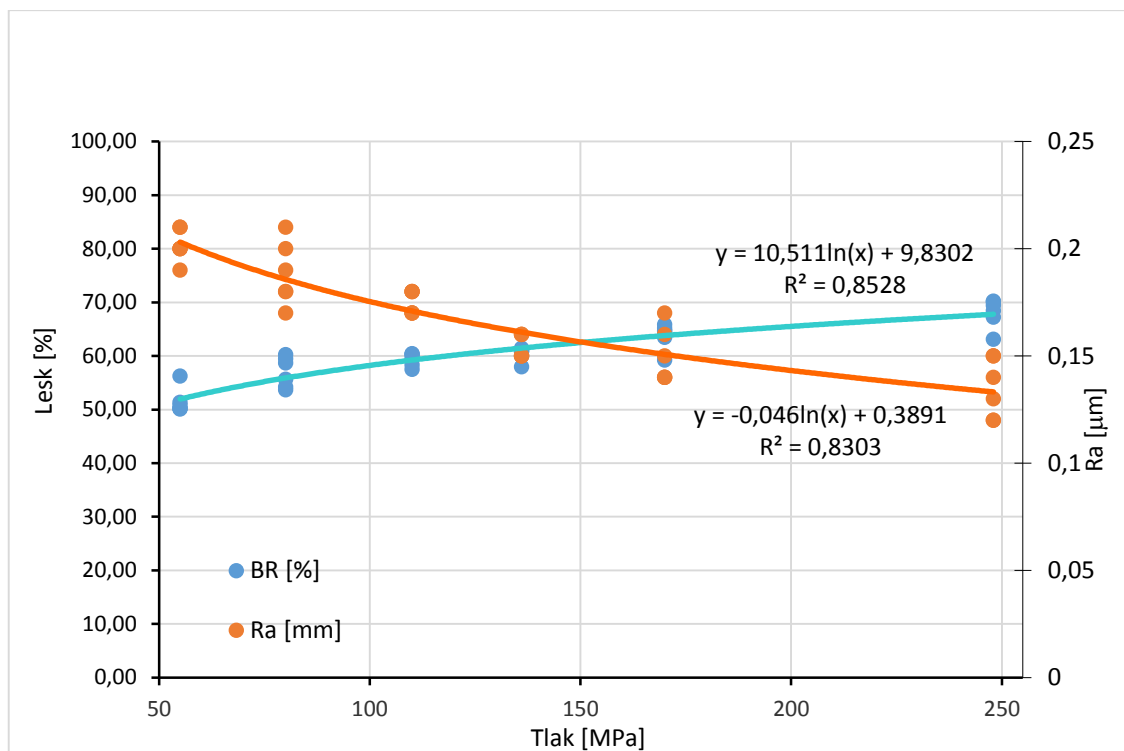
V tabulce (příloha č.6) jsou uvedeny naměřené hodnoty, v případě BR a Ra se jedná o průměrné hodnoty ze 3 měření pro BR a 2 měření pro Ra ( viz. Kapitola 4.2.3).

Ze získaných dat je sestaven graf lisovacích parametrů. K tomuto účelu, byly u jednotlivých hodnot vypočteny průměrné hodnoty, které jsou uvedeny v následující tabulce č. 10.

Tab. č. 10: Průměrné hodnoty měření

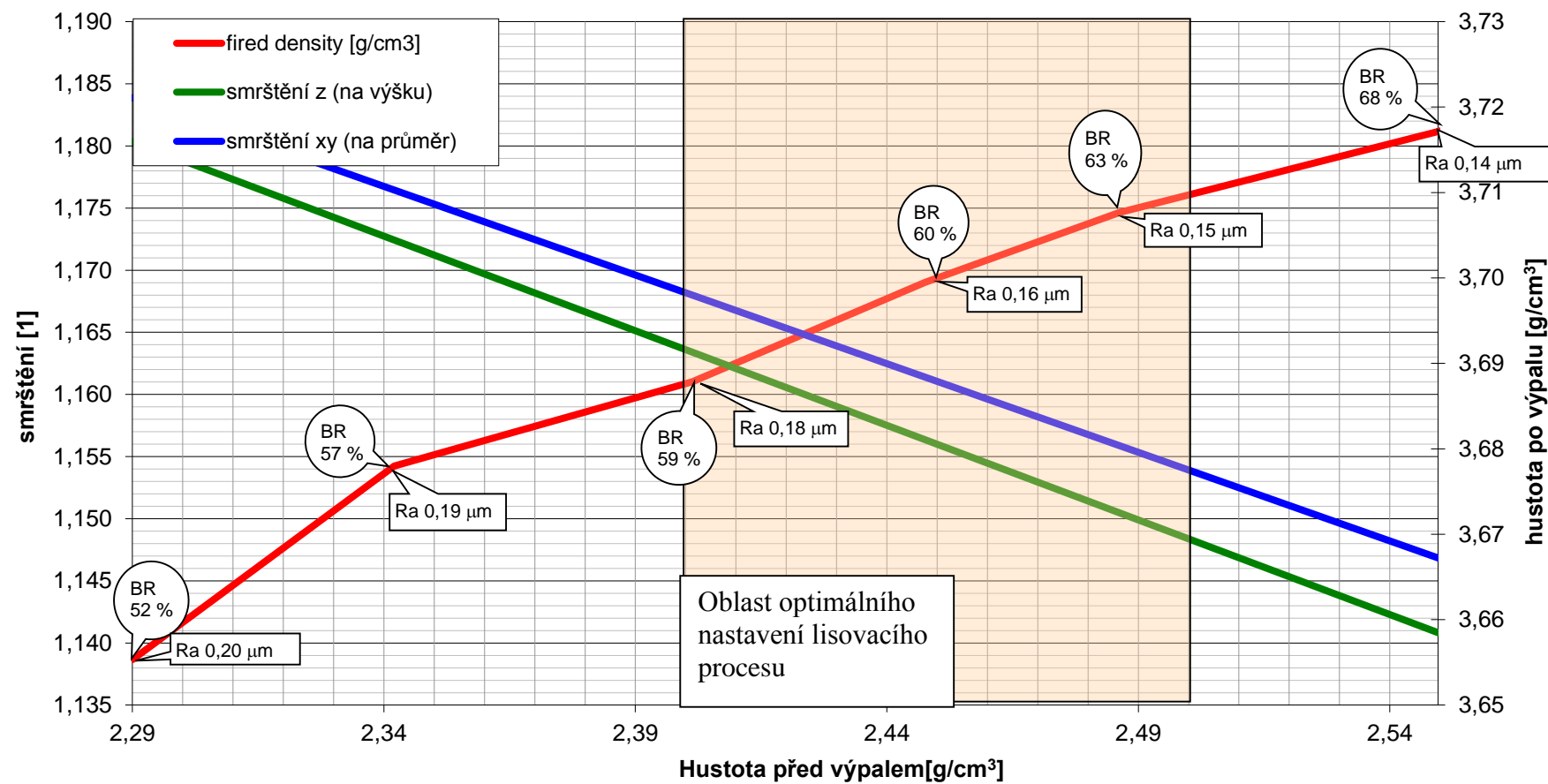
rozměry za syrova					rozměry po výpalu								
Tlak[Mpa]	hmotnost	výška	průměr	G.D	váha	δ hm	výška	smrštění	průměr	smrštění	F.D.	BR	Ra
	m	h	d		m2	%	h2	výšky	d2	průměru			
váha[T]	[g]	[mm]	[mm]	[g/cm3]	[g]	[%]	[mm]	[1]	[mm]	[1]	[g/cm3]	[%]	[um]
55	16,80	8,44	33,26	2,29	16,18	3,64	7,15	1,18	28,08	1,18	3,66	52	0,20
80	16,88	8,29	33,27	2,34	16,27	3,63	7,07	1,17	28,31	1,18	3,68	57	0,19
110	16,81	8,05	33,28	2,40	16,19	3,65	6,91	1,16	28,49	1,17	3,69	59	0,18
136	17,80	8,36	33,27	2,45	17,15	3,62	7,25	1,15	28,64	1,16	3,70	60	0,16
170	17,31	8,00	33,28	2,49	16,68	3,64	6,96	1,15	28,81	1,16	3,71	64	0,15
248	17,38	7,82	33,28	2,55	16,75	3,63	6,85	1,14	29,02	1,15	3,72	68	0,14





Graf 5: Závislost BR a Ra na lisovacím tlaku





Graf 6: Lisovací parametry pro materiál T 195 NS š. 12 208

### **Závěr:**

- 1) Na základě výsledků byla stanovena optimální hustota výlisku ( $2,40 - 2,50 \text{ gcm}^{-3}$ ) z kterého vyplívá ideální smrštění potřebné pro návrh rozměrů nástrojů tak, aby byla zaručena minimální hustota výpalku F.D  $3,69 \text{ gcm}^{-3}$ , BR 60 % a drsnost Ra  $0,18 \mu\text{m}$ .
- 2) Z naměřených výsledků je patrné, že optimální lisovací tlak se nachází v rozsahu 110 a 170 MPa. Dále je patrné, že se zvyšujícím se tlaku lisování stoupá hodnota BR a hodnota drsnosti naopak klesá.
- 3) Horní hranice hustoty výlisku G.D  $2,50 \text{ gcm}^{-3}$  byla stanovena na základě výskytu prasklin ve výliscích. Nad touto hranicí dochází k přelisování granulátu.

## **4.5 Závislost kvality povrchu na lisovacím tlaku pro materiál P 172 SDP**

### **Cíl experimentu:**

Úkolem tohoto experimentu je porovnat kvalitativní vlastnosti, drsnost povrchu Ra a BR u dvou různých šarží stejného materiálu P 172 SDP a ověřit použitelnost šarží pro daný typ nástroje.

### **Postup měření:**

Při tomto experimentu byly použity následující šarže materiálu P 172 SDP. Materiálové listy jsou uvedeny v příloze č.3

1. P 172 SDP š. 12353312
2. P 172 SDP š. 11284312

K porovnání těchto šarží byl nejprve proveden granulometrický rozbor, stanovena sypná hustota B. D a tekutost.



Sypná hustota a tekutost byla stanovena pomocí odměrného válce o objemu 100ml a trychtýře uchyceného v držáku 25 mm nad hranou odměrného válce. Keramický granulát byl odměřen v laboratorní 100ml lopatce a vsypán do trychtýře, u kterého byl prstem uzavřen výtok. Odměrný válec byl nejprve na vahách vytárován. Následně byl výtok trychtýře uvolněn, zároveň byly spuštěny stopky, kterými byl měřen čas výtoku granulátu. Vyteklý granulát v odměrném válci byl pak opatrně pomocí pravítka zarovnán s okrajem válce a zvážen. Pro každou šarži byla provedena 2 měření.

*Tab. 11: sypná hustota a tekutost*

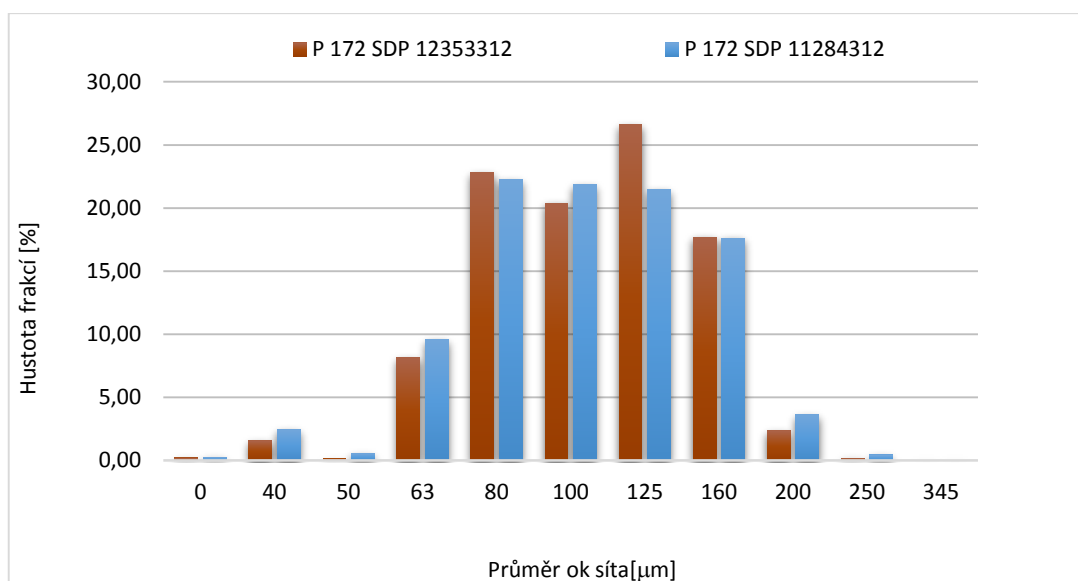
P 172 SDP 12353312			P 172 SDP 11284312		
měření	B.D [gcm <sup>-3</sup> ]	tekutost [s]	měření	B.D [gcm <sup>-3</sup> ]	tekutost [s]
1	1,21	11,3	1	1,22	11,1
2	1,21	11,7	2	1,22	11,3

Granulometrický rozbor byl proveden na síťovacím zařízení Retch AS200. V kádince bylo odváženo 300g granulátu a vsypáno do zařízení. Doba vibrací síťovacího zařízení byla nastavena na 10 min a rozsah vibrací 60%. Po ukončení síťování byly frakce na jednotlivých sítích zváženy, zapsány do tabulky a vyhodnoceny.

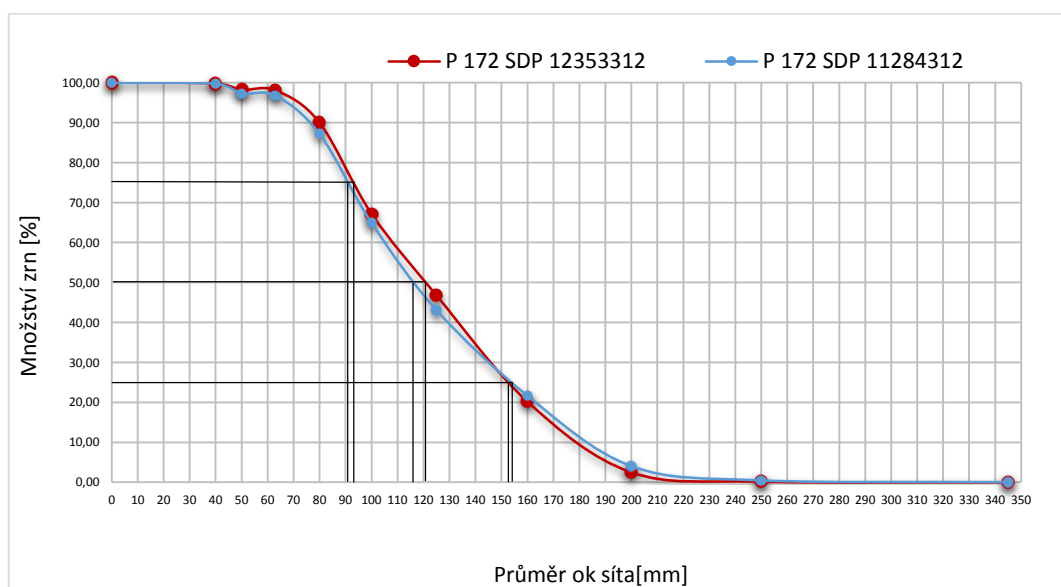
*Tab. 12: Hodnoty granulometrického rozboru*

velikost ok síta [mm]	P 172 SDP 12353312			P 172 SDP 11284312		
	hmotnost frakcí [g]	hustota frakci [%]	celkový podíl frakcí [%]	hmotnost frakcí [g]	hustota frakci [%]	celkový podíl frakcí [%]
0	0,61	0,20	100,00	0,75	0,25	100,00
40	4,7	1,58	99,80	7,22	2,43	99,75
50	0,39	0,13	98,22	1,64	0,55	97,32
63	24,17	8,11	98,09	28,55	9,60	96,77
80	67,88	22,78	89,98	66,24	22,26	87,17
100	60,79	20,40	67,20	64,98	21,84	64,91
125	79,21	26,58	46,80	63,8	21,44	43,07
160	52,69	17,68	20,21	52,37	17,60	21,63
200	7,01	2,35	2,53	10,7	3,60	4,03
250	0,53	0,18	0,18	1,29	0,43	0,43
345	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
<b>celkem</b>	<b>297,98</b>	<b>100</b>		<b>297,54</b>	<b>100</b>	





*Graf 7: Hustota rozdělení velikosti zrn*



*Graf 8: Rozdělení velikosti zrn*

Výsledkem granulometrického rozboru jsou hodnoty  $d_{50}$   $d_{25}$  a  $d_{75}$  odečtené z grafu č. 8. Lze vypočítat stupeň stejnorodosti  $s$ .

P 172 SDP š. 12353312       $d_{50} = 120 \mu\text{m}$     $d_{75} = 93 \mu\text{m}$     $d_{25} = 152 \mu\text{m}$

$$s = \frac{d_{75}}{d_{25}} = \frac{93}{152} = 0,61$$



P 172 SDP š. 11284312       $d_{50}=116\text{ }\mu\text{m}$     $d_{75}=91\text{ }\mu\text{m}$     $d_{25}=153\text{ }\mu\text{m}$

$$s = \frac{d_{75}}{d_{25}} = \frac{91}{153} = 0,59$$

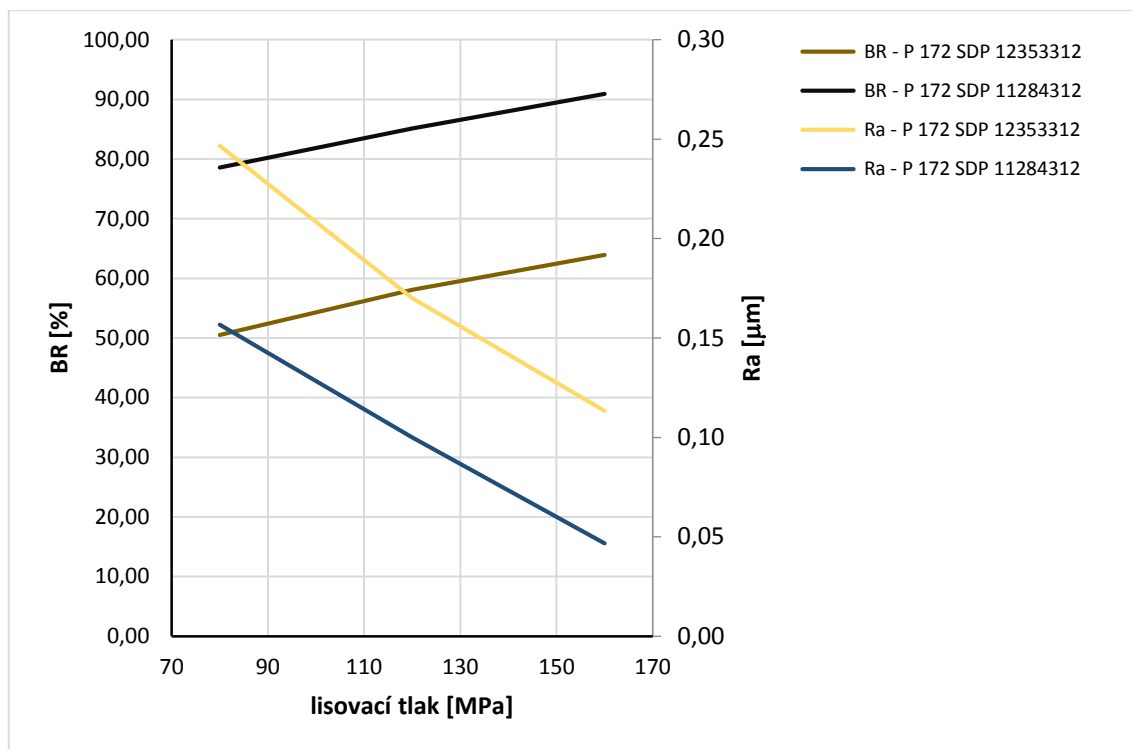
Vzorky byly nalisovány tlaky 80, 120 a 160 MPa pomocí laboratorního lisu ProfiPress 60. Vypáleny byly v průběžné tunelové peci FT 25 při teplotě 1570°C. Před a po výpalu byla na vzorcích změřena hmotnost (m, m2), rozměry (d, h a d2, h2) a hustota po výpalu F.D. Následně proběhlo rovinné broušení na stroji Peter Walters a leštění diamantovou suspenzí zrnitosti 3 – 5  $\mu\text{m}$ . Na vyleštěných vzorcích byla nakonec detekována drsnost Ra a BR.

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č.13.

Tab. 13: Naměřené hodnoty vzorků pro P 172 SDP

		ProfiPress 60T					FT 25 1570°C/3hrs							BR		Ra	
		Tlak[Mpa]	hmotnost	výška	průměr	G.D	váha	δ hm	výška	smrštění	průměr	smrštění	F.D.				
		m	h	d		m2		h2	výšky	d2	průměru						
		váha[T]	[g]	[mm]	[mm]	[g/cm3]	[g]	[%]	[mm]	[1]	[mm]	[1]	[g/cm3]				
P 172 SDP š. 12353312	1	80	10,42	5,29	33,26	2,27	10,168	2,43	4,43	1,194	27,67	1,202	3,89	50	0,26		
	2	80	10,51	5,34	33,27	2,26	10,249	2,46	4,40	1,214	27,66	1,203	3,89	50	0,23		
	3	80	10,57	5,34	33,27	2,28	10,311	2,46	4,43	1,205	27,68	1,202	3,89	51	0,25		
	1	120	10,48	5,21	33,29	2,31	10,222	2,46	4,33	1,203	27,79	1,198	3,91	57	0,18		
	2	120	10,45	5,20	33,28	2,31	10,198	2,41	4,32	1,204	27,80	1,197	3,92	58	0,15		
	3	120	10,46	5,21	33,28	2,31	10,206	2,44	4,33	1,203	27,80	1,197	3,91	60	0,18		
	1	160	10,55	5,18	33,29	2,34	10,289	2,44	4,31	1,202	27,88	1,194	3,92	64	0,12		
	2	160	10,51	5,16	33,29	2,34	10,252	2,45	4,32	1,194	27,87	1,194	3,92	64	0,10		
	3	160	10,52	5,20	33,30	2,32	10,267	2,43	4,31	1,206	27,87	1,195	3,92	64	0,12		
P 172 SDP š. 11284312	1	80	10,01	5,16	33,28	2,23	9,773	2,37	4,23	1,220	27,47	1,212	3,92	78	0,15		
	2	80	10,11	5,21	33,28	2,23	9,871	2,39	4,28	1,217	27,46	1,212	3,92	79	0,16		
	3	80	10,22	5,27	33,27	2,23	9,979	2,39	4,33	1,217	27,45	1,212	3,92	79	0,16		
	1	120	10,24	5,16	33,30	2,28	9,995	2,39	4,28	1,206	27,62	1,206	3,93	85	0,12		
	2	120	10,30	5,20	33,28	2,28	10,056	2,40	4,29	1,212	27,61	1,205	3,93	85	0,08		
	3	120	10,29	5,19	33,28	2,28	10,040	2,40	4,28	1,213	27,62	1,205	3,93	85	0,10		
	1	160	10,27	5,16	33,29	2,29	10,022	2,42	4,25	1,214	27,72	1,201	3,94	90	0,05		
	2	160	10,27	5,11	33,31	2,31	10,019	2,41	4,24	1,205	27,75	1,200	3,93	92	0,04		
	3	160	10,21	5,11	33,28	2,30	9,967	2,41	4,21	1,214	27,74	1,200	3,93	91	0,05		



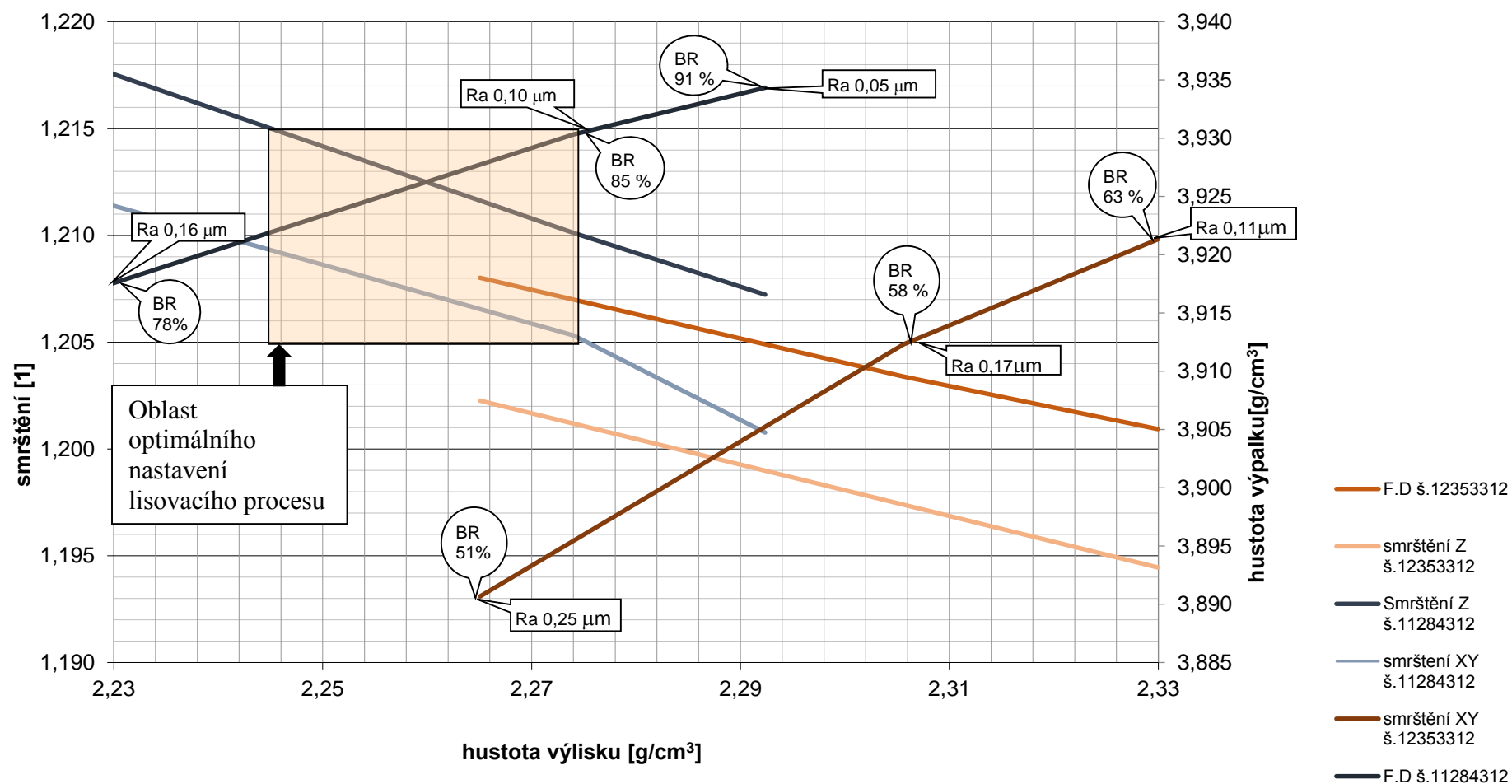


Graf 9: Závislosti BR a drsnosti Ra na lisovacím tlaku pro šarže materiálu P172SDP

Pro zjištění použitelnosti šarží vzhledem k danému smrštění materiálu, na kterou je navržen nástroj byl sestrojen graf č. 10







Graf 10: Lisovací parametry pro šarže materiálu PI72SDP

### **Závěr:**

- 1) Byla zjištěna sypná hustota pro š. 12353312 -  $1,21 \text{ gcm}^{-3}$ , a pro š. 11284312 -  $1,22 \text{ gcm}^{-3}$ . Tekutost pro š. 12353312 – 11,5 s a pro š. 11284312 – 11,2 s.
- 2) Hodnoty granulometrického rozboru nevykazují velké rozdíly, střední velikost granulátu pro š. 12353312 je  $d_{50} = 120 \mu\text{m}$  a pro š. 11284312 je  $d_{50} = 116 \mu\text{m}$ .
- 3) Šarže 11284312 dosahuje průměrně o 27% vyšší BR a o 0,08mm nižší drsnost Ra.
- 4) Z grafu lisovacích parametrů je patrné, že pro daný nástroj, pro který je potřebné smrštění mezi 1,205 – 1,215 je šarže materiálu 12353312 nepoužitelná, jelikož výpalek nedosáhne potřebné hustoty F. D  $3,9 \text{ gcm}^{-3}$ . Z grafu je také patrné, že pro šarži 11284312 je ideální hustota G. D pro dané smrštění mezi 2,24 – 2,28  $\text{gcm}^{-3}$ , kdy je zaručeno jak vysokého BR a nízkého Ra tak hustoty F.D nad  $3,9 \text{ gcm}^{-3}$ .

## **4.6 Zadírání keramického materiálu T 195 NS**

### **Cíl experimentu:**

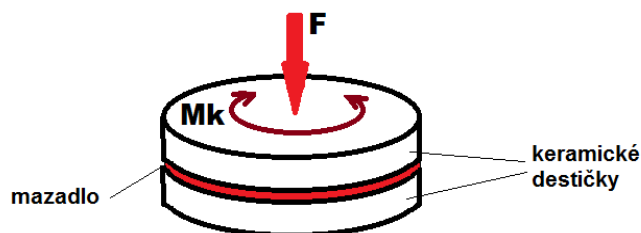
Cílem tohoto experimentu je sestavit křivky kroutícího momentu u výrobku RO 2265 z materiálu T 195 NS.

### **Postup měření:**

Do přípravku přístroje TMV 3 (obr. 24) byly upnuty testované destičky RO 2265, které mají v místě styku aplikováno mazadlo A, B, a C. Na ovládacím panelu byly nastaveny jednotlivé parametry: počet cyklů 30, úhel rozevření  $90^\circ$ , rychlost pootočení  $1^\circ/\text{s}$ , limit proti poškození čidla 3 Nm, záznam hodnot na konci cyklu. Dvě keramické destičky jsou k sobě přitlačovány silou F o hodnotě 100N, mezi



destičky je v tenké vrstvě naneseno mazadlo (obr. 26). Po spuštění stroje se podle nastavení ovládacího panelu začne pohybovat horní destička upnutá v přípravku vůči spodní destičce, která je v přípravku zafixována. Vzniklé hodnoty kroutícího momentu jsou zaznamenávány v tabulce



Obr. 26: Působení sil a momentu na testované destičky

#### **Použitá mazadla:**

Mazadla použitá v tomto experimentu jsou uvedena v tabulce, materiálové listy jsou přiloženy v příloze.

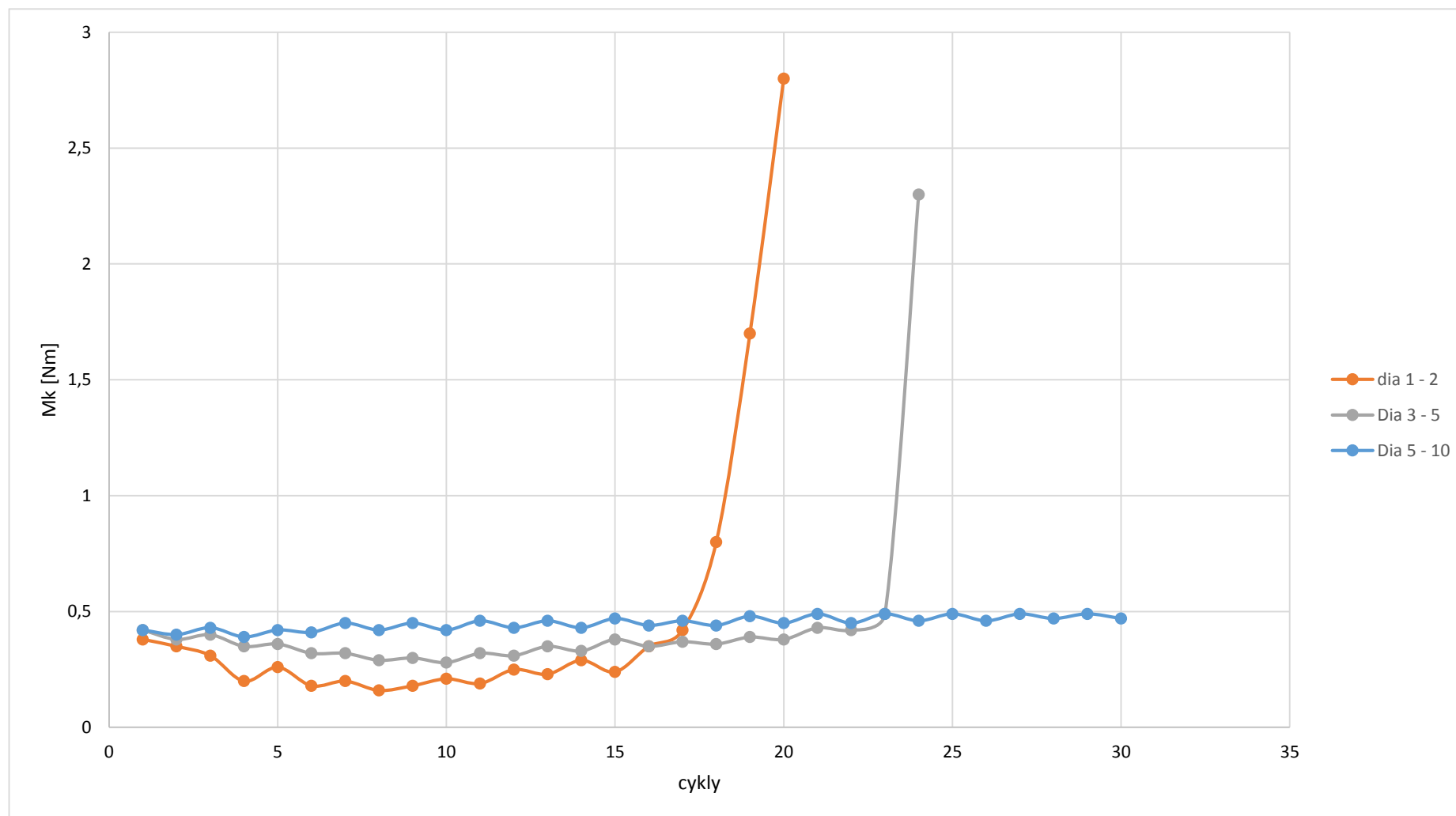
Tab. 14: mazadla

Označení	Název	Výrobce	Příloha
Mazadlo A	BERULUB SIHAF 2	Bechem Lubricant Technology	7
Mazadlo B	PARALIQ GB 363	Kluber Lubrication	8
Mazadlo C	FIN FOOD GREASE 2	Interflon	9

Tab. 15: Naměřené kroutící momenty

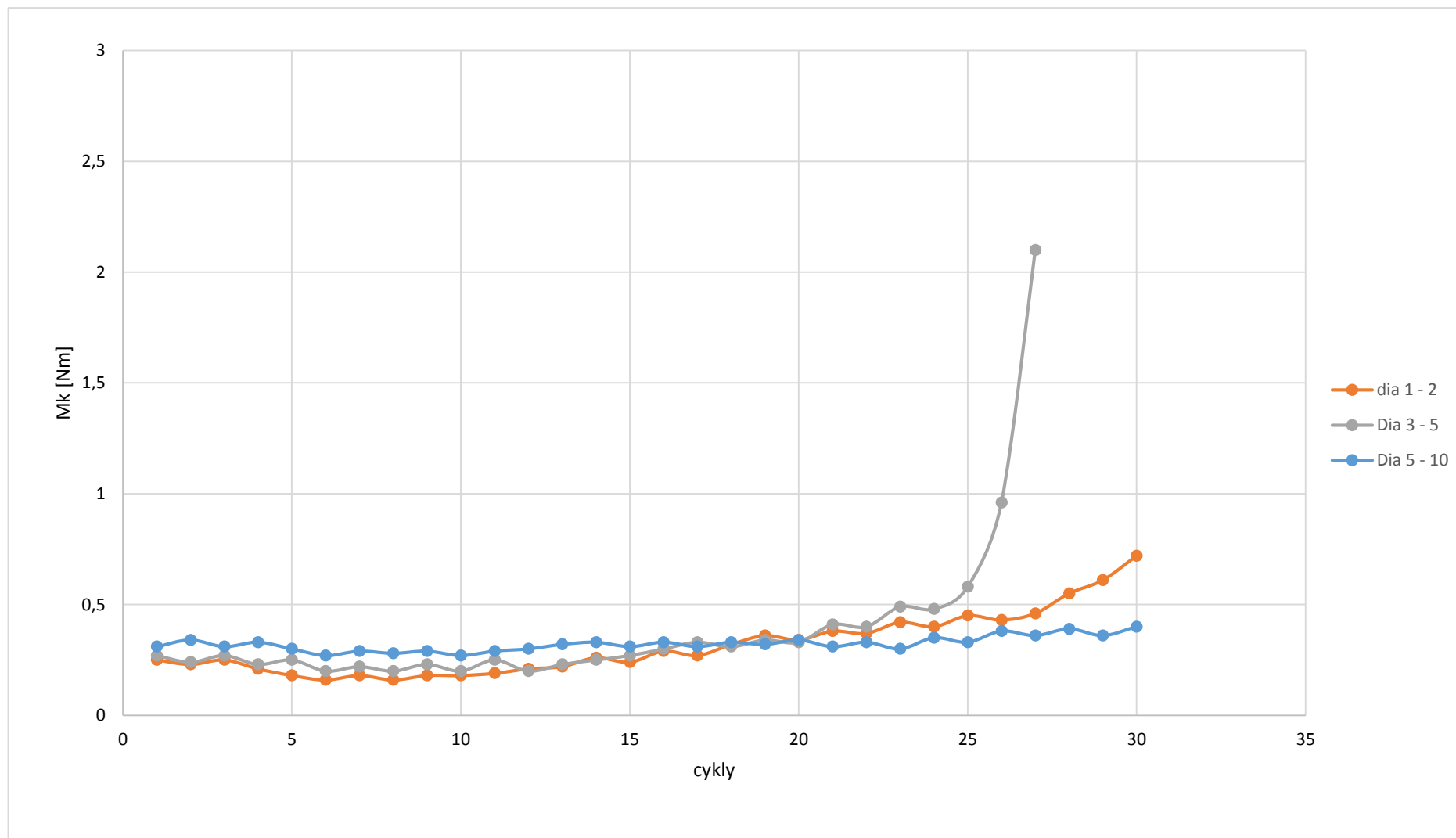
cykly	Mazadlo A			Mazadlo B			Mazadlo C		
	Dia. 1 – 2 μm	Dia. 3 – 5 μm	Dia. 5 - 10 μm	Dia. 1 – 2 μm	Dia. 3 – 5 μm	Dia. 5 - 10 μm	Dia. 1 – 2 μm	Dia. 3 – 5 μm	Dia. 5 - 10 μm
	Mk [Nm]			Mk [Nm]			Mk [Nm]		
1	0,38	0,42	0,42	0,25	0,27	0,31	0,21	0,27	0,34
2	0,35	0,38	0,4	0,23	0,24	0,34	0,17	0,25	0,32
3	0,31	0,4	0,43	0,25	0,27	0,31	0,38	0,27	0,34
4	0,2	0,35	0,39	0,21	0,23	0,33	0,34	0,26	0,29
5	0,26	0,36	0,42	0,18	0,25	0,3	0,37	0,27	0,28
6	0,18	0,32	0,41	0,16	0,2	0,27	0,36	0,26	0,27
7	0,2	0,32	0,45	0,18	0,22	0,29	0,4	0,26	0,28
8	0,16	0,29	0,42	0,16	0,2	0,28	0,12	0,22	0,26
9	0,18	0,3	0,45	0,18	0,23	0,29	0,4	0,23	0,3
10	0,21	0,28	0,42	0,18	0,2	0,27	0,12	0,19	0,27
11	0,19	0,32	0,46	0,19	0,25	0,29	0,41	0,21	0,31
12	0,25	0,31	0,43	0,21	0,2	0,3	0,15	0,23	0,3
13	0,23	0,35	0,46	0,22	0,23	0,32	0,41	0,25	0,33
14	0,29	0,33	0,43	0,26	0,25	0,33	0,2	0,24	0,34
15	0,24	0,38	0,47	0,24	0,27	0,31	0,18	0,28	0,31
16	0,35	0,35	0,44	0,29	0,3	0,33	0,2	0,25	0,35
17	0,42	0,37	0,46	0,27	0,33	0,31	0,26	0,33	0,31
18	0,8	0,36	0,44	0,32	0,31	0,33	0,23	0,27	0,35
19	1,7	0,39	0,48	0,36	0,34	0,32	0,28	0,34	0,32
20	2,8	0,38	0,45	0,34	0,33	0,34	0,25	0,28	0,34
21		0,43	0,49	0,38	0,41	0,31	0,31	0,35	0,33
22		0,42	0,45	0,37	0,4	0,33	0,3	0,34	0,35
23		0,49	0,49	0,42	0,49	0,3	0,32	0,33	0,32
24		2,3	0,46	0,4	0,48	0,35	0,33	0,4	0,39
25			0,49	0,45	0,58	0,33	0,39	0,37	0,35
26			0,46	0,43	0,96	0,38	0,41	0,43	0,4
27			0,49	0,46	2,1	0,36	0,45	0,39	0,35
28			0,47	0,55		0,39	0,49	0,48	0,4
29			0,49	0,61		0,36	0,44	0,42	0,36
30			0,47	0,72		0,4	0,55	0,48	0,42





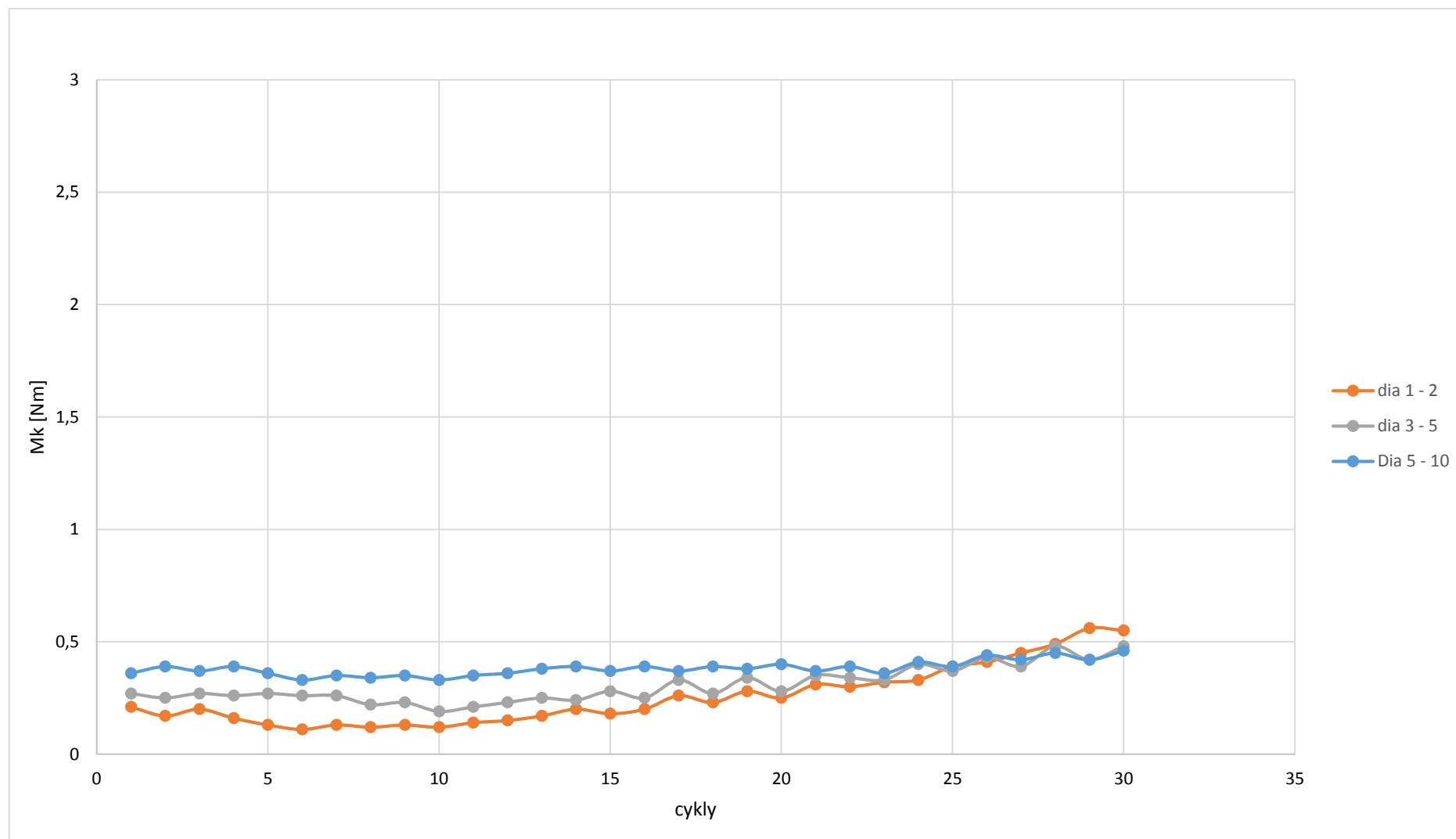
Graf 11: Zadirání Materiálu T195 NS - Mazadlo A





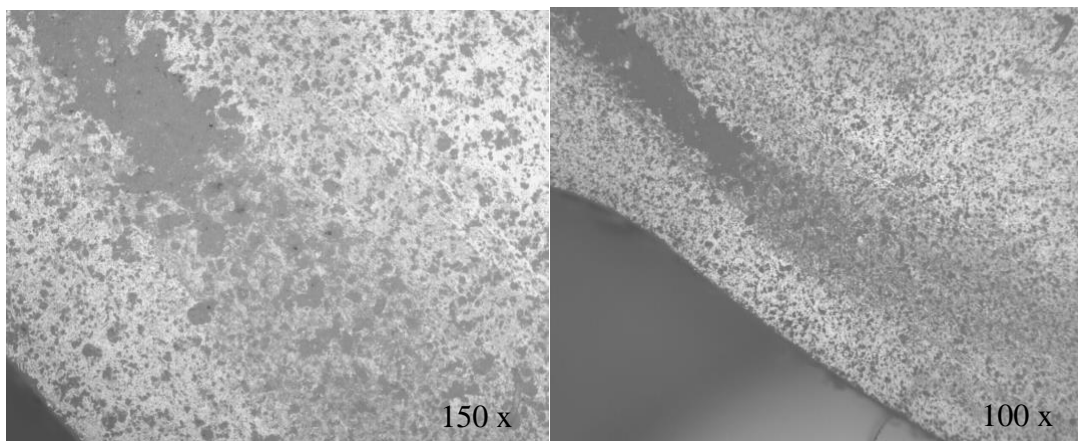
Graf 12: Zadirání Materiálu T195 NS - Mazadlo B





Graf 13: Zadirání Materiálu T195 NS - Mazadlo C





*Obr. 27: Vizualizace oblasti kde se nachází stopa způsobená zadřením*

**Závěr:**

- 1) Jako optimální typ bylo vybráno mazadlo typ C – FIN FOOD GREASE 2 s kombinací s povrchem leštěným na dia 3 – 5, Ra 0,14 a BR 79 %, kdy nedochází k zadření a je dosahováni nejnižších kroutících momentu.



## 4. Diskuse výsledků

Prášková technologie je z principu charakteristická vyšší nestabilitou procesu oproti konvenčním technologiím, proto je potřeba průběžně sledovat proces výroby a efektivně ho korigovat. Nestabilita procesu nám způsobuje, že je zapotřebí velkého množství vzorků a vyšší četnost měření při experimentech. V praxi to znamená, že je nutné neustále sledovat kvalitu vstupních surovin a parametry procesu tak, aby byla výsledná zmetkovitost co nejmenší (pod 10%).

Na základě těchto skutečností je pak také zapotřebí přihlížet takto k výsledkům experimentů. V praxi to znamená, že pro důležitá rozhodnutí, změny technologií je potřeba neustále měřené hodnoty aktualizovat a testy provádět s velkým množstvím vzorků. Nedoporučuje se pracovat se staršími daty a závěry stanovovat na základě několika nahodilých měření. Důležitým faktorem je také prokázání zvýšení či snížení sledovaného parametru na základě určité technologie. Změny s ohledem na příslušné rozptyly měření je třeba vyhodnocovat tak, aby nedocházelo k mylným závěrům a změna nebyla způsobena jen chybou měření.

Problematickým faktorem je při sledování změn vlivem zásahů do technologie zajistit neměnnost ostatních parametrů, tzn. například změníme jeden parametr - lisovací tlak, ale nejsme schopni dodržet pozici ve výpalových pomůckách. Je obtížné sestavit experimenty tak, abychom jednoznačně odhalili příčinu neshody, z důvodu, že nedokážeme změnit jen jeden parametr. Doporučuje se také změny, pokud je to možné vždy ověřovat, aby nedocházelo k efektu náhodného výsledku. Na druhou stranu, ale v provozních podmínkách je rozsáhlé testování a ověřování drahé proto také záleží na dostatečné zkušenosti technologa, aby dokázal v určitých případech předvídat výsledky a nezvyšoval tak náklady na vzorkování.

V experimentu zadírání se sice povedlo nalézt vhodný mazací systém s ohledem na kvalitu povrchu, ale do důsledku se nestanovila příčina a princip zadírání. S největší pravděpodobností zadírání způsobují nečistoty - zbytky po leštění vyplňující póry, které se nedostatečně odstranily v procesu mytí a které jsou pomocí podtlaku vytvořeného mazacím systémem a póry při rotačním pohybu vyneseny na povrch, kde dojde s kolizí s těsníci plochami a následně k zadření.



## 5. Závěr

Diplomová práce je rozdělena na část teoretickou a experimentální. Experimentální část se zabývá sledováním kvality povrchu danou drsností povrchu Ra a nosným podílem - BR „leskem“ měřeným optickou metodou. Testy byly prováděny na keramických granulátech používaných ve firmě Coorstek s.r.o Turnov přesněji na materiálech T195 NS firmy Nabaltek, ADR – 96 firmy Coorstek USA a P 172 SDP firmy Alteo. Vzorky z těchto granulátů byly podrobeny následujícím experimentům:

**1. Sestavit závislost drsnosti povrchu charakterizované parametrem Ra a BR „lesk“ na zrnitosti diamantových suspenzí s ohledem na typ výrobku.** V experimentu byly použity výrobky z portfolia Coorstek Turnov. Bylo zjištěno, že vyšší hodnota BR a nižší drsnost Ra se dosahuje u materiálů s vyšším obsahem  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , a při použití jemnější zrnitosti diamantového brusiva. U většiny těchto výrobků je požadována kvalita povrchu dána následujícími parametry Ra max  $0,25\mu\text{m}$  a BR cca 70%. Proto je pro tyto účely vhodná diamantová suspenze o zrnitosti 3 – 5  $\mu\text{m}$ . V tomto experimentu byla také porovnána hodnota BR na výrobcích ze stejného materiálu (T 195 NS), kdy byly zjištěny rozdíly způsobené tvarem výlisku – různým prolisováním nebo použitou šarží materiálu.

**2. Nalezení optimálního lisovacího tlaku charakterizovaného hustotou výlisku (G.D) pro daný typ materiálu s ohledem na výslednou hustotu výpalku (F.D), drsnosti povrchu Ra a BR.** Sledovaný materiál v tomto experimentu byl povlakovaný T 195 NS, u kterého byl stanoven optimální lisovací tlak mezi 110 a 170 MPa. Při těchto lisovacích tlacích dosahuje materiál hustot výlisků mezi 2,40 – 2,50  $\text{gcm}^{-3}$  a po výpalu tunelovou pecí je zajištěna minimální hustota výpalku F.D 3,69  $\text{gcm}^{-3}$ , a při použití leštící diamantové suspenze 3 – 5  $\mu\text{m}$  drsnost povrchu Ra 0,18  $\mu\text{m}$  a BR 60%. Nad hustotou výlisku G.D 2,50  $\text{gcm}^{-3}$  bychom sice získali lepší kvalitu povrchu i větší hustotu výpalku F.D, ale u těchto vzorků byly nalezeny trhliny, které nejsou u výrobků přípustné.

**3. Porovnání kvalitativních vlastností, drsnosti povrchu Ra a BR u dvou různých šarží stejného materiálu P 172 SDP a ověřit použitelnost šarží pro daný typ nástroje.** V tomto experimentu byli ověřovány dvě šarže materiálu P172 DSP š. 12353312 a š. 11284312. V úvodu experimentu při granulometrickém rozboru materiál nevykazoval velké rozdíly. Z grafu byla odečtena hodnota  $d_{50} = 120\mu\text{m}$  pro šarži 12353312 a  $d_{50} = 116\mu\text{m}$  pro šarži 11284312. Na vyleštěných vzorcích však bylo



detekováno průměrně o 27% vyšší BR a o 0,08  $\mu\text{m}$  nižší Ra. Šarže 12353312 byla nakonec vyhodnocena jako nevyhovující neboť pro daný nástroj nedosáhne potřebného smrštění 1,205 – 1,215 ani hustoty výpalku F.D 3,9  $\text{gcm}^{-3}$ . Tento materiál je vhodné reklamovat u dodavatele. Šarže 11284312 byla schválena, pro dané smrštění je optimální hustota výlisku G.D 2,23 – 2,27  $\text{gcm}^{-3}$ , kdy je dosaženo jak požadované kvality povrchu tak hustoty výpalku.

**4. Sestavit křivky kroutícího momentu u výrobku RO 2265 z materiálu T 195 NS a stanovit optimální kvalitu povrch a vhodný typ mazacího systému.** Na výrobcích RO 2265 vyleštěných diamantovými suspenzemi 1 – 2  $\mu\text{m}$ , 3 – 5  $\mu\text{m}$ , 5 – 10  $\mu\text{m}$  byla testována tři mazadla. Jako optimální mazací produkt byl vybrán FIN FOOD GREASE 2 firmy Interflon u kterého nedošlo k zadření u žádného typu leštěného povrchu. U povrchů leštěného diamantovou suspenzí 5 – 10  $\mu\text{m}$  sice nedošlo také k zadření u žádného mazadla, avšak kvalita povrchu daná drsností Ra a BR nedosahuje požadovaných hodnot.



## 6. Seznam použité literatury

- [1] *Projekty Tauh* [online], naposledy editována 28.2 2013, [cit. 2013-03-17] dostupné z <<http://projekty.tauh.cz/projekt-sblizovani/pdf/obr-nekovu.pdf>>
- [2] HANYKÝŘ, Vladimír. KUTZENDORFER, Jaroslav. *Technologie keramiky*. 2.vydání.Praha: Silikátový svaz, 2008, 387 s. ISBN 978-80-86821-48-1
- [3] VALENTA, Ladislav. *Keramická příručka*. 2 upravené vydání [s.l.], Silikátový svaz, 2007, 417s, ISBN 978-80-86821-46-7
- [4] KOLER, Aleš, *Základy technologie jemné keramiky*, Vysoká škola strojní a textilní, leden 1971, 142s
- [5] Wikipedia: otevřená encyklopedie [online]. *Bauxit*: Wikipedia foundation, 11.12.2006, naposledy editována 9.3 2013 [cit. 2013-03-17]. Dostupné z <<http://cs.wikipedia.org/wiki/bauxit>>
- [6] *World Bauxite Producing Countries* [online], last edited 20.12.2012, [cit. 2013-3-18], dostupné z <<http://www.mapsofworld.com/minerals/world-bauxite-producers.html>>
- [7] MICHNA, Štefan, *Výroba hliníku*, [online], [cit. 2013-3-24] dostupné z <[http://www.stefanmichna.com/download/technicke-materialy\\_II/vyroba\\_hliniku.pdf](http://www.stefanmichna.com/download/technicke-materialy_II/vyroba_hliniku.pdf)>
- [8] Wikipedia: otevřená encyklopedie [online]. *Kulový mlýn*: Wikipedia foundation, 11.12.2006, naposledy editována 20.3 2013 [cit. 2013-03-28]. Dostupné z <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Kulov%C3%BD\\_ml%C3%BDn](http://cs.wikipedia.org/wiki/Kulov%C3%BD_ml%C3%BDn)>
- [9] Leták k rozprachové sušárně ve firmě Coorstek
- [10] MACA, Karel, *Slinování pokročilé keramiky*, Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně, Materiál f. Coorstek s.r.o
- [11] FRANTA, Lukáš, *K problematice efektivního statického součinitele tření u kloubních ploch*, [online] Praha 2004, 63 s, Diplomová práce – ČVUT, Fakulta strojní, Vedoucí práce RNDr. Josef Pražák, CSc.
- [12] NEZDAŘILÍKOVÁ, M, *Metrologická confirmace měřidla*, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011, 36 s, Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Koška, Ph.D, dostupné z <[http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=41432](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=41432)>
- [13] *Stanovení povrchových vlastností (barva, lesk) materiálů exponovaných za podmínek simulující vnější prostředí v QUV panelu*, [online] [cit. 2013-04-25], dostupné online z <[http://www.vscht.cz/kat/download/lab2\\_stanoveni\\_povrchovych\\_vlastnosti.pdf](http://www.vscht.cz/kat/download/lab2_stanoveni_povrchovych_vlastnosti.pdf)>
- [14] *Tribologie*, studijní materiál TUL, katedra Strojírenské technologie, 24s, [cit. 2013-05-08], dostupné z <[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/ttv/tribologie.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/ttv/tribologie.pdf)>



# Seznam obrázků tabulek a grafů

## Obrázky

- Obr. 1: Bauxit[5]
- Obr. 2: Výroby  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Bayerovým způsobem[7]
- Obr. 3: Princip kulového mlýnu[8]
- Obr. 4: Schema rozprachové sušárny[8]
- Obr. 5: Fáze slinovacího procesu[10]
- Obr. 6: Geometrie dvoučásticového modelu slinování[10]
- Obr. 7: Silová rovnováha na nakloněné rovině[11]
- Obr. 8: Stribeckovy křivky závislosti součinitele tření  $\mu$  na rychlosti  $u$ [11]
- Obr. 9: Kontaktní tření[11]
- Obr. 10: Smíšené tření[11]
- Obr. 11: Základní druhy opotřebení[11]
- Obr. 12: Nárůst opotřebení s časem při stálých podmínkách[11]
- Obr. 13: Zobrazení dotykové metody snímání profilu [12]
- Obr. 14: Zobrazení nejvyšší výšky výstupků profilu drsnosti  $R_p$ [12]
- Obr. 15: Zobrazení prvku profilu[12]
- Obr. 16: Zobrazení největší prohlubně profilu drsnosti[12]
- Obr. 17: Zobrazení největší výšky profilu drsnosti[12]
- Obr. 18: Zobrazení výšek prvků profilu v rozsahu základní délky[12]
- Obr. 19: Křivka materiálového podílu drsnosti povrchu[14]
- Obr. 20: Leštěný povrch keramické destičky RO 2302 (zvětšení 150×)
- Obr. 21: Profipress 60 T
- Obr. 22: Mikroskop Leica DFC 280
- Obr. 23: Hommel tester T500
- Obr. 24: přístroj TMV 3
- Obr. 25: Další vybraná zařízení
- Obr. 26: Působení sil a momentu na testované destičky
- Obr. 27: Vizualizace oblasti kde se nachází stopa způsobená zadřením

## Tabulky

- Tab. 1: Vlastnosti keramických materiálů[2,3]
- Tab. 2: Vlastnosti korundové keramiky[2,3]
- Tab. 3: Nejvýznamnější producenti bauxitu pro rok 2012 [6]
- Tab. 4: Přehled použitých materiálů
- Tab. 6: Keramické výrobky pro experiment v kapitole 4.3
- Tab. 7: Tabulka hodnot BR a Ra pro diamantovou směs o zrnitosti 1 – 2  $\mu\text{m}$
- Tab. 8: Tabulka hodnot BR a Ra pro diamantovou směs o zrnitosti 3 – 5  $\mu\text{m}$
- Tab. 9: Tabulka hodnot BR a Ra pro diamantovou směs o zrnitosti 5 – 10  $\mu\text{m}$
- Tab. 10: Průměrné hodnoty měření
- Tab. 11: sypná hustota a tekutost
- Tab. 12: Hodnoty granulometrického rozboru
- Tab. 13: Naměřené hodnoty vzorků pro P 172 SDP
- Tab. 14: mazadla
- Tab. 15: Naměřené kroutící momenty



## Grafy

- Graf 1: Hodnoty BR v závislosti na zrnitosti diamantu
- Graf 2: Hodnoty drsnosti povrchu Ra na zrnitosti diamantu
- Graf 3: Hodnoty BR pro výrobky z T195 NS
- Graf 4: Hodnoty Ra pro výrobky z T 195 NS
- Graf 5: Závislost BR a Ra na lisovacím tlaku
- Graf 6: Lisovací parametry pro materiál T 195 NS š. 12 208
- Graf 7: Hustota rozdělení velikosti zrn
- Graf 8: Rozdělení velikosti zrn
- Graf 9: Závislosti BR a drsnosti Ra na lisovacím tlaku pro šarže materiálu P172SDP
- Graf 10: Lisovací parametry pro šarže materiálu P172SDP
- Graf 11: Zadíráání Materiálu T195 NS - Mazadlo A
- Graf 12: Zadíráání Materiálu T195 NS - Mazadlo B
- Graf 13: Zadíráání Materiálu T195 NS - Mazadlo C

## Seznam příloh

- |             |                                   |                             |
|-------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| Příloha č.1 | - materiálový list                | T195 NS                     |
| Příloha č.2 | - materiálový list                | ADR 96                      |
| Příloha č.3 | - materiálové listy               | P 172 SDP                   |
| Příloha č.4 | - profiPress 60T                  |                             |
| Příloha č.5 | - Profilometr Hommel Tester T 500 |                             |
| Příloha č.6 | - naměřené hodnoty kap.4.4        |                             |
| Příloha č.7 | - materiálový list                | Berulub Sihaf 2             |
| Příloha č.8 | - materiálový list                | Paraliq GB 363              |
| Příloha č.9 | - materiálový list                | Interflon Fin Food Grease 2 |



## Příloha 1

CoorsTek Advanced Materials  
Turnov s.r.o.

Za Viaduktem 2150

511 01 Turnov

Nabaltec AG  
Alustrasse 50 - 52  
D-92421 Schwandorf  
Telefon: 09431/53-223  
Telefax: 09431/53-289

## Inspection certificate 3.1 according to DIN EN 10204:2005

**product** GRANALOX T 195 NS (bigbags)  
**quantity (kg)** 10.000  
**despatch date** 29.01.13  
**delivery note** L:1300954  
**order number** 31201676

**Truck / Container No.** 4H1 0917 3H9 1598

	<b>analysis</b>	
<b>Asset</b>	<b>S1</b>	<b>S1</b>

<b>batch no.</b>		<b>BB 12/0128</b>	<b>BB 12/0259</b>
<b>quantity (kg)</b>		6.000	4.000
<b>properties</b>	<b>specification</b>		
moisture	0,1 - 0,3 %	0,24	0,18
Bulk density	1.080 - 1.180 kg/m <sup>3</sup>	1.151	1.126
D50 (granules)	80 - 120 µm	112	115
Green density	2,28 - 2,38 g/cm <sup>3</sup>	2,35	2,31
Sinter density 1620°C/1h	3,65 - 3,75 g/cm <sup>3</sup>	3,71	3,68
Iso. lin. shrinkage	14,5 - 16,0 %	15	15,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Info (%)	94,4	94,5
SiO <sub>2</sub>	Info (%)	3,11	3,06
Na <sub>2</sub> O	Info (%)	0,12	0,11

Rudolf Schüle  
**quality control**  
expert

transmission minervit@minervit.eu (email), vrictrova@coorstek.com (email)



## Příloha 2



Home > Materials > Ceramics > Alumina > ADR-96 ADR-96 ALUMINA MATERIAL PROPERTIES

Trade Name		ADR-96		
Composition		Nominal 96% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
Color		White		
Property		Units	Test	Value
Density		gm/cc	ASTM-C20	3.72
Crystal Size, average		Microns	Thin-Section	6
Water Absorption		%	ASTM-373	0
Gas Permeability				0
Flexural Strength (MOR), 20° C		MPa (psi x 10 <sup>3</sup> )	ASTM-F417	358 (52)
Elastic Modulus, 20° C		GPa (psi x 10 <sup>6</sup> )	ASTM-C848	303 (44)
Poisson's Ratio, 20° C			ASTM-C848	0.21
Compressive Strength, 20° C		MPa(psi x 10 <sup>3</sup> )	ASTM-C773	2068 (300)
Hardness		GPa(kg/mm <sup>2</sup> )	KNOOP 1000 gm	11.5
				(1175)
		R45N	Rockwell 45 N	78
Tensile Strength, 25° C		MPa (psi x 10 <sup>3</sup> )	ACMA TEST #4	221 (32)
Fracture Toughness K(I c)		Mpa m <sup>1/2</sup>	NOTCHED BEAM	4-5
Thermal Conductivity, 20° C		W/m K	ASTM-C408	24.7
Coefficient of Thermal Expansion, 25-1000° C		1 x 10 <sup>-6</sup> / °C	ASTM-C372	8.2
Specific Heat, 100° C		J/kg*K	ASTM-E1269	880
Thermal Shock Resistance, A Tc		°C	NOTE 3	250
Maximum Use Temperature		°C	NO-LOAD COND.	1700
Dielectric Strength, 6.35mm		ac-kV/mm (acV/mil)	ASTM-D116	8.3 (210)
Dielectric Constant, 1MHz		25° C	ASTM-D150	9.0
Dielectric Loss (tan delta) 1MHz		25° C	ASTM-D150	0.0002
Volume Resistivity	25° C	ohm-cm	ASTM-D1829	>10 <sup>14</sup>
	500° C	ohm-cm	ASTM-D1829	4 x 10 <sup>9</sup>
	1000° C	ohm-cm	ASTM-D1829	1 x 10 <sup>6</sup>
Impingement			Note 4	0.50
Rubbing			Note 4	0.60

## Příloha 3

Gardanne, on 02/22/2013

**Analysis certificate**

<b>addressee</b> : CoorsTek Adv. Mat. Turnov / TURNOV		
<b>Customer ref.</b> : 31300240 dated 15.02.2013		
<b>Order</b> : 305811	<b>Shipping advice</b> : GARDA 38682	
<b>Product</b> : P172SDP02SDBAX		
<b>Shipped on</b> : 02/21/2013		
<b>Quantity</b> : 0,125 tons		
<b>Lot n°</b> : 11284312		
<b>Analysis certificate to the attention of</b> : F.O. Allemagne		
<b>Fax n°</b> :		
<b>Email</b> : Kristina.Benner@riotinto.com		

		Analysis
<b>Physical characteristics</b>		
moisture on alumina "as such"	%	0.36
loss ignition 20 to 1000°C	%	2.1
Median size d50	µm	122
<b>Chemical characteristics</b>		
Al2O3 dry	%	99.83
Na2O total	ppm	500
MgO	ppm	470
CaO	ppm	185
SiO2	ppm	325
Fe2O3	ppm	180
<b>Ceramics properties</b>		
Green density, 100 MPa	g/cm3	2.26
fired density, 1540°C	g/cm3	3.91

**Quality Control,**



**Copy** Anke SIMON

**This certificate is in compliance with the European norm EN 10204-3.1**

Gardanne, on 02/22/2013

**Analysis certificate**

<b>addressee</b> : CoorsTek Adv. Mat. Turnov / TURNOV		
<b>Customer ref.</b> : 31300240 dated 15.02.2013		
<b>Order</b> : 305811	<b>Shipping advice</b> : GARDA 38682	
<b>Product</b> : P172SDP02SDBAX		
<b>Shipped on</b> : 02/21/2013		
<b>Quantity</b> : 0,375 tons		
<b>Lot n°</b> : 12353312		
<b>Analysis certificate to the attention of</b> : F.O. Allemagne		
<b>Fax n°</b> :		
<b>Email</b> : Kristina.Benner@riotinto.com		

		Analysis
<b>Physical characteristics</b>		
moisture on alumina "as such"	%	0.35
loss ignition 20 to 1000°C	%	2.2
Median size d50	µm	125
<b>Chemical characteristics</b>		
Al2O3 dry	%	99.85
Na2O total	ppm	500
MgO	ppm	405
CaO	ppm	150
SiO2	ppm	280
Fe2O3	ppm	140
<b>Ceramics properties</b>		
Green density, 100 MPa	g/cm3	2.29
fired density, 1540°C	g/cm3	3.90

**Quality Control,**

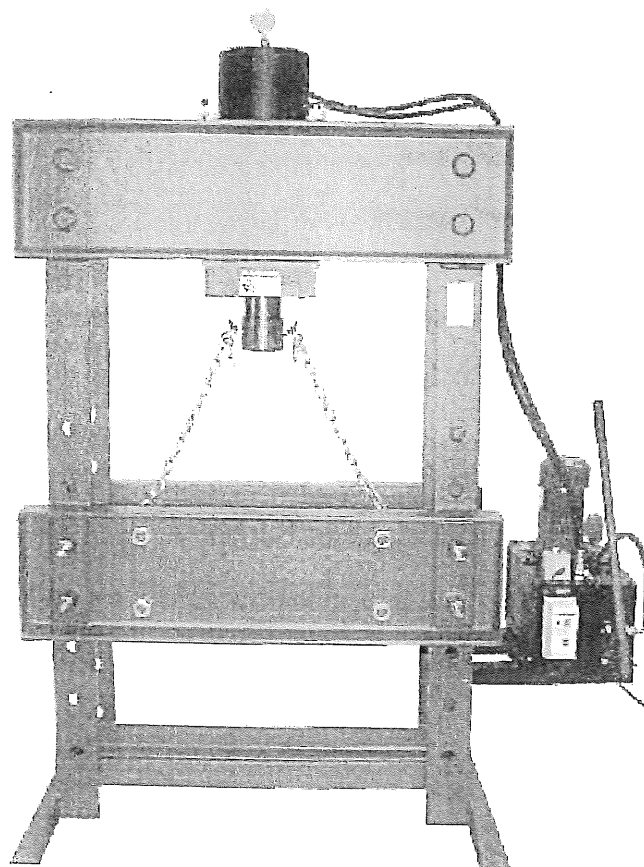


**Copy** Anke SIMON

**This certificate is in compliance with the European norm EN 10204-3.1**

## Příloha 4

# NÁVOD K OBSLUZE



pro

## Iis Profi Press



info@rhtc.nl - [www.rhtc.nl](http://www.rhtc.nl)  
Willibrordusweg 10  
5374 NG Schaijk, Nizozemsko

Fax: 0031(0)486463853  
Mobil: 0031(0)653367601  
Tel.: 0031(0)486464692

## 2. Popis

### 2.1 Obecné informace

Hydraulický dílenský lis 60 T je navržen pro následující účely:

- nosníky, profily, čepy; ohýbání a rovnání hřídelí;
- ložiska, objímky; montáž a demontáž os;
- ražení, děrování, tvarování.

Tento stroj lze používat v autoopravnách, dílnách apod. a je vhodný i pro domácí použití. Jeho možnosti lze rozšířit doplněním speciálního vybavení, například prizmat ("V-bloků") nebo vnitřní pracovní desky. V zájmu snížení rizika poškození se důrazně doporučuje používat stroj za všech okolností předepsaným způsobem.

### 2.2 Technické údaje

Obecné specifikace		60 T	100 T	160 T
Tlačná síla	[kN]	588	981	1570
Max. tlak	[bar]	235	266	283
Zdvih	[mm]	400	400	400
Hmotnost (vč. oleje)	[kg]	708	935	1575

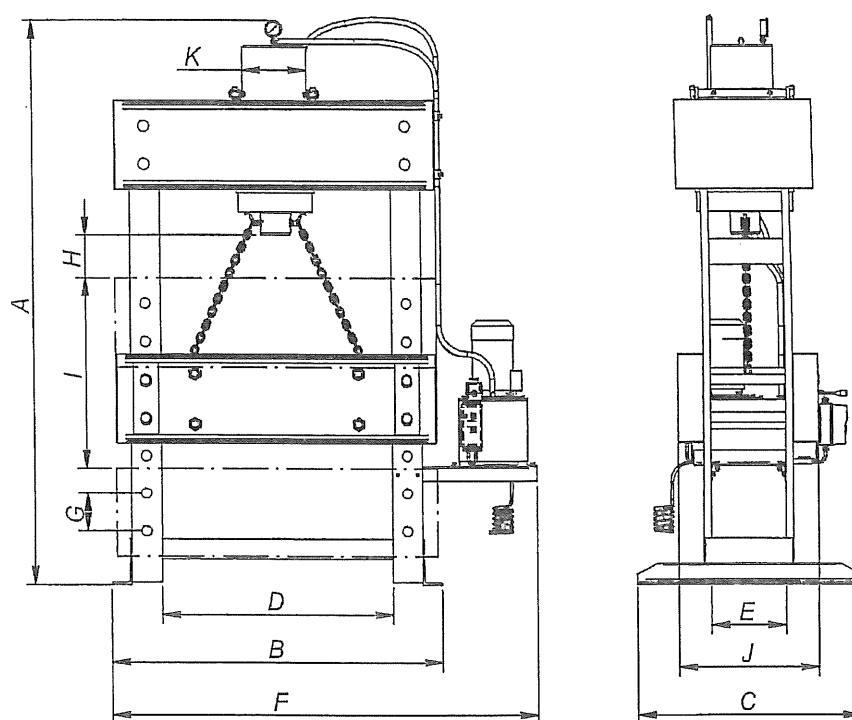
Elektrický motor		60 T	100 T	160 T
Výkon	[kW]	2,2	2,2	4
Napětí	[V]	400 / 3~	400 / 3~	400 / 3~
Frekvence	[Hz]	50 / 60	50 / 60	50 / 60
Jmenovitá rychlost	[ot/min]	3000	3000	3000
Ochrana izolace	[IP]	56	56	55
Izolační třída		I	I	I

Hydraulický systém		60 T	100 T	160 T
Dodávaný průtok	[l/min]	6,2	7,8	10,9
Kapacita olejové nádrže	[dm <sup>3</sup> ]	20	20	20
Kapacita systému	[dm <sup>3</sup> ]	8	12	17

Provozní podmínky		60 T	100 T	160 T
Tlačná rychlost	[mm/s]	4	3,4	3,2
Zpětná rychlost	[mm/s]	5,5	4,6	4,3



## 2.3 Rozměry



Obr.: Rozměry

Rozměr	60 T	100 T	160 T
A [mm]	2155	2224	2270
B [mm]	1150	1320	1600
C [mm]	900	900	1100
D [mm]	750	920	1100
E [mm]	250	300	350
F [mm]	1530	1700	1945
G [mm]	150	150	150
H [mm]	186	168	183
I [mm]	750	750	750
J [mm]	505	564	614
K [mm]	210	254	324

## Příloha 5

Precision is our business.



## HOMMEL TESTER T500

The benchmark for portable  
and precise in-process  
measurement of surface  
roughness





## Portable and Reliable Roughness In-Process Measurement

### A leader in production and technology

Hommelwerke GmbH has a long history of tradition in the field of precision. The products manufactured by the company's founder, Hermann Hommel, were already setting standards and revolutionising measurement systems at the turn of the 20th century. And it's this innovative capacity, perfected over a period of more than 125 years that enables Hommelwerke to repeatedly set the benchmark for precision and quality. The numerous awards for performance, innovation and user friendliness speak for themselves.

The Hommelwerke factories work to create a competitive edge for its customers as precision measurement and consequently product optimisation has become the central factor in success.

We take a more precise approach. In development, quality and uncompromising accuracy coupled with our after-sales and training services.

Hommelwerke is one of the leaders in measurement systems. These include its smallest product, the portable HOMMEL TESTER T500. This guarantees mobile and reliable surface roughness measurement in the workshops or on the production line.

The HOMMEL TESTER T500 is the ideal partner for precise and reliable measurements.

It sets the standard in portable roughness measurement thanks to the easy handling, ergonomic design and its robust measurement qualities. With its functional design, the device fits easily in the user's hand making it simple to precisely position on the workpiece.

The HOMMEL TESTER T500 easily copes with the wide range of measurement tasks with the help of the various pick-ups and extensive accessories. This allows the HOMMEL TESTER T500 to match the performance of many stationary measurement devices with its accuracy and precision.



RAPID MEASUREMENT

### HOMMEL TESTER T500

- Portable, works independently using rechargeable batteries
- Rapid and precise measurements
- Easy and simple to use
- Roughness parameters in accordance with DIN/ISO/JIS standards
- Gaussian digital filter (M1)
- RS232 interface for connection to PC and remote control
- Robust and clever design protects the measuring stylus
- Datasave for 125 measurements
- Extendable support legs
- No calibration required



## Mobile and Rapid Measurement at the Workplace



THE HOMMEL TESTER T500

The advantages of the HOMMEL TESTER T500 at a glance

### Portability

The small device, which operates independently, guarantees to provide perfect measurements in all types of operating environments.

### Use

With just integral keys and one knurled wheel the HOMMEL TESTER T500 is easy and simple to use.

### Clearness of Display

The large LC-display enables the results to be read easily, even under poor lighting conditions.

### Functionality

The device can store up to 125 measurement values which can be analysed via a printout on the separate HOMMEL PRINTER P510 or via the TURBO DATAWIN PC software.

### Precision

The parameters approved under DIN/ISO/JIS and the calibrated measuring elements make the HOMMEL TESTER T500 a versatile roughness measurement device.

### Design

Minimal weight, ergonomic design and easy handling provide for unparalleled mobility.



LC-DISPLAY



EASY TO USE



VARIABLE STABILIZERS



PORTABLE



SEP 1940 STANDARD







## Rapid and Precise Measurement Evaluation

### Flexible measurement and evaluation

The HOMMEL PRINTER P510 is a handy thermal printer for mobile use in conjunction with the HOMMEL TESTER T500 roughness measurement device. The compact HOMMEL PRINTER P510 prints out its measurement results quickly and simply, in situ. In addition to providing clear and unambiguous results the HOMMEL PRINTER P510 provides power to the HOMMEL TESTER T500.

The device is so easy to use: to print out your test results just connect the HOMMEL TESTER T500 and press the results key on the HOMMEL PRINTER P510. A few seconds later you will have a printout of your measurements.

The HOMMEL PRINTER P510 offers you the facility for printing out your roughness parameters, profile measurements and also the measurement conditions that were applied.

In this respect you can choose between a simple printout of the parameters only or the extended printout to include the parameters, the measurement conditions applied and the R profile. There is space in the printout header for your manual entries on the measurement detail. The HOMMEL PRINTER P510 is powered by the mains supply or its built-in battery.

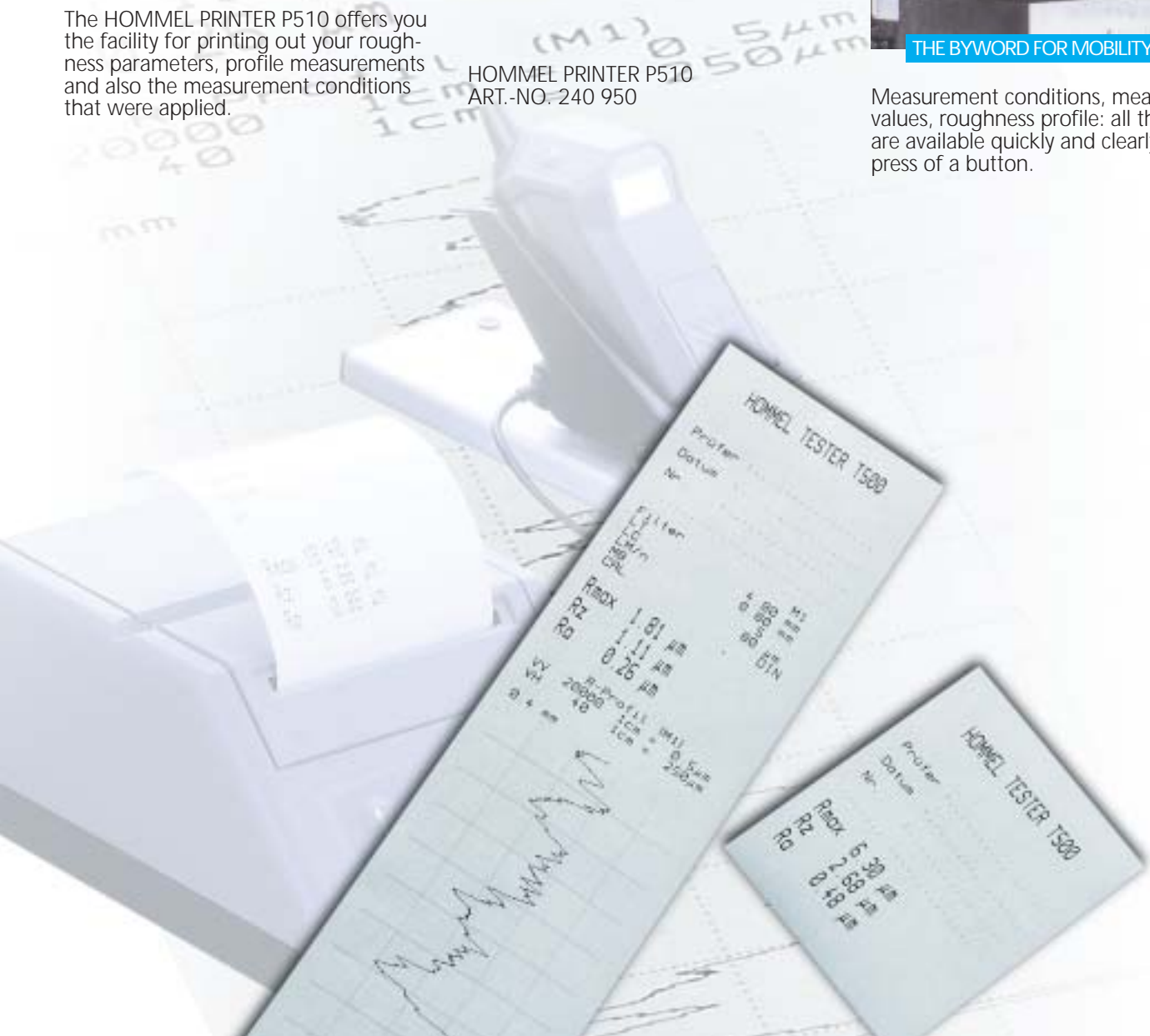
For measurements which demand precise positioning use the HOMMEL TESTER T500 together with the HOMMEL PRINTER P510 and the HS 305S measurement stand: this turns the small, mobile HOMMEL TESTER T500 into the complete measurement station.



THE BYWORD FOR MOBILITY

HOMMEL PRINTER P510  
ART.-NO. 240 950

Measurement conditions, measurement values, roughness profile: all these results are available quickly and clearly at the press of a button.





# HOMMEL TESTER T500 AND TURBO DATAWIN FOR STATIONARY MEASUREMENT EVALUATION AND DATA STORAGE

- Simple to use via function keys or mouse
- Data structure compatible with all HOMMEL TURBO programs
- Graphics and parameters can be imported into other applications (Excel, Word etc.)
- Facilities for connecting the HOMMEL TESTER T500 to COM1 or COM2
- Storage of all statistics in ASCII format either on diskette or hard disc drive
- Statistics and bearing ratio calculations available

Hardware requirements:  
PC from Pentium, min. 32 MB RAM,  
Windows XP

## The software with simple menu guide

In addition to the HOMMEL PRINTER P510, Hommelwerke also offers you the matching software package: TURBO DATAWIN makes full use of all the facilities offered by the HOMMEL TESTER T500 measurement device, making your work easier. The Windows roughness program is simple to use and provides parameter evaluation in a user friendly way – even without any prior knowledge of Windows. This is thanks to its clearly defined menu guide. TURBO DATAWIN gives you the facility for remote control on the HOMMEL TESTER T500. The parameters are automatically transferred to the computer. Profile diagrams and measurement values can then be stored.

TURBO DATAWIN  
ART.-NO. 1001 6998



LC-DISPLAY



P510 PRINT OUT



TURBO DATAWIN



A4 PRINT OUT





# The Complete Range of Equipment and Optimum Accessories Program

## HOMMEL TESTER T500

Surface evaluation parameters \_\_\_\_\_  $R_a, R_z, R_{max}/R_t, R_q, R_{3z}, R_{Sm}$   
 (with C1, C2)  
 acc. to DIN 4777 and ISO 4287  
 or Japanese standards JIS B601  
 as well as parameters of the  
 material ratio curve ( $Mr_1, Mr_2, R_{pk},$   
 $R_{pk}^*, R_{vk}, R_{vk}^*$ ) acc. to DIN 4776/  
 ISO 13565 (DIN EN ISO 13565)  
 \*Note: Option applicable for devices without Datasave function!

Specially for the roughness  
 measurement of sheet  
 metal in accordance with  
 SEP 1940 utilizing the  
 HOMMEL TESTER T500S  
 ART.-NO. 999 505

Tolerance display for $R_a, R_z, R_{max}$ or $R_t$				
Cut-off lengths $\lambda_c$	$\lambda_c$ (mm)	0.25	0.8	2.5
Traverse lengths $l_t$	$\lambda_t$ (mm)	1.5	4.8	15.0
as per DIN 4768 and ISO 4287/1	1-5 selectable			
Individual traverse lengths $l_R$				
Traverse speed $v_t$	$v_t$ (mm/s)	0.15	0.5	1.0

The 0.25 mm and 0.8 mm cut-offs can be  
 freely assigned to any scanning distance.

Digital filter \_\_\_\_\_ Profile filter M1 with phase compensation

Measurement range/Resolution _____	MB			
	1	+ 20/- 20 $\mu m$	/	10 nm
		+ 20/- 60 $\mu m$	/	20 nm
	2	+ 40/- 40 $\mu m$	/	20 nm
		+ 40/- 120 $\mu m$	/	40 nm

Precision category \_\_\_\_\_ Category 1, as per DIN 4772  
 Smallest display value \_\_\_\_\_ 0.01  $\mu m$   
 Probe position indicator \_\_\_\_\_ bar indicator and numerical value  
 Measurement system \_\_\_\_\_  $\mu m$  and  $\mu inch$   
 Interface \_\_\_\_\_ Standard V24 (RS 232), serial  
 Power supply \_\_\_\_\_ 9,6 V replaceable battery with plug-in  
 mains adapter  
 Measurement capacity \_\_\_\_\_ approx. 300 measurements at  $l_t = 4.8$  mm  
 (per battery charge)  
 Dimensions (length x width x height) \_\_\_\_\_ 118 mm x 56 mm x 62 mm  
 Weight \_\_\_\_\_ 330 g

## T5E STANDARD STYLUS

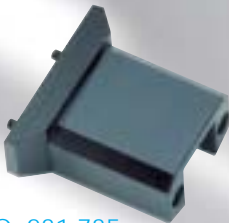
Measurement principle \_\_\_\_\_ Inductive, carrier frequency 10 kHz  
 Stylus tip \_\_\_\_\_ 5  $\mu m$  / 90°  
 Measuring force \_\_\_\_\_ 1.6 mN  
 Skid radius \_\_\_\_\_ length 30 mm, transverse 1.9 mm  
 Min. bore diameter \_\_\_\_\_ 4.0 mm, depth 20.0 mm

## HOMMEL PRINTER P510

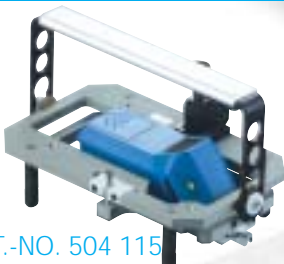
Printer type \_\_\_\_\_ Thermal graphics printer  
 Print speed \_\_\_\_\_ 30 mm/s  
 Font size \_\_\_\_\_ 2.4 x 1.3 mm  
 Print width \_\_\_\_\_ 46 mm  
 Paper size \_\_\_\_\_ Paper roll diameter 30 mm  
 (paper length approx. 10 m), width 57 mm  
 Keyboard \_\_\_\_\_ Touch sensitive keyboard with 3 keys  
 (oil resistant)  
 Interface \_\_\_\_\_ T500 connector cable, mains connection  
 adapter  
 Paper feed \_\_\_\_\_ Via roller in paper shaft  
 Operating temperature \_\_\_\_\_ + 10... + 35°C  
 Dimensions (width x height x depth) \_\_\_\_\_ 42 mm x 48 mm x 135 mm  
 Weight \_\_\_\_\_ approx. 600 g  
 Power supply \_\_\_\_\_ 100-240 V  
 Battery capacity \_\_\_\_\_ 1500 mAh



ART.-NO. 235 730  
 TKPK 100 STYLUS



ART.-NO. 231 735  
 PRTK ATTACHMENT PRISM



ART.-NO. 504 115  
 WA500 ROLLER ATTACHEMENT





– Flat surfaces and shafts

ART.-NO. 240 050

Attachment prism  
for small shafts

ART.-NO. 191 838

Stylus extension T5AZZ  
(50 mm) for all T5 styli

ART.-NO. 226 805

Desktop power unit T500 TN

with charger for replaceable battery and  
remote start key

ART.-NO. 229 345

T5E

– As per T5E – particularly  
useful for measurements  
taken flush against  
shoulders or collars

ART.-NO. 241 767

T5D

– Specially for measuring on  
concave or convex surfaces

ART.-NO. 240 085

T5KK

– For small bores from  
2 mm diameter  
– Only recommended utilizing a  
height stand

ART.-NO. 240 087

T5KO

– For flat surfaces as  
per SEP 1940

ART.-NO. 235 730

TKPK

– For recessed surfaces

ART.-NO. 240 080

T5ET



ART.-NO. 999 016

HS 305S HEIGHT STAND



ART.-NO. 023 784

REPLACEABLE BATTERIE



ART.-NO. 233 232

RNDH/DKD ROUGHNESS STANDARD



ART.-NO. 999 500

DELIVERY SET

HOMMEL TESTER T500

T5E STYLUS

BATTERY CHARGER

RECHARGEABLE BATTERY

OPERATING INSTRUCTIONS

CARRYING CASE

STYLUS COVER

(including small screwdriver)

CALIBRATION CERTIFICATE



## Product Programme

ROUGHNESS MEASURING  
CONTOUR MEASURING  
OPTICAL SHAFT MEASURING  
FORM MEASURING  
GEAR MEASURING  
CRANKSHAFT AND CAMSHAFT MEASURING  
OPTICAL SURFACE INSPECTION  
DIMENSIONAL MEASURING MACHINES  
STANDARD COMPONENTS  
MEASURING SOLUTIONS  
DKD CALIBRATION SERVICE  
CONSULTATION, TRAINING AND SERVICE

## Precision – worldwide

### HEADQUARTERS

Hommelwerke GmbH  
Alte Tuttlinger Straße 20  
D-78056 VS-Schwenningen  
Phone +49/(0) 77 20/602-0  
Fax +49/(0) 77 20/602-123  
E-Mail [info@hommelwerke.de](mailto:info@hommelwerke.de)  
Internet [www.hommelwerke.com](http://www.hommelwerke.com)

### PLANT JENA

Hommelwerke GmbH  
Werk Jena  
Prüssingstraße 41  
D-07745 Jena  
Phone +49/(0) 36 41/65 -30 49  
Fax +49/(0) 36 41/65 -36 80  
E-Mail [info@hommelwerke.de](mailto:info@hommelwerke.de)

### OPTI-SENS

Hommelwerke GmbH  
Opti-Sens Technology  
August-Borsig-Straße 13  
D-78467 Konstanz  
Phone +49/(0) 75 31/59 41-0  
Fax +49/(0) 75 31/59 41-41  
E-Mail [info@hommelwerke.de](mailto:info@hommelwerke.de)

### INCOLINE

Hommelwerke GmbH  
Customer Support Incline  
Erzbergerstraße 115  
D-76133 Karlsruhe  
Phone +49/(0) 7 21/97 39-4  
Telefax +49/(0) 7 21/97 39-591  
E-Mail [info@hommelwerke.de](mailto:info@hommelwerke.de)

### Branch Jena

Prüssingstraße 41  
D-07745 Jena  
Phone +49/(0) 36 41/65 44-40  
Fax +49/(0) 36 41/65 44-41  
E-Mail [jena@hommelwerke.de](mailto:jena@hommelwerke.de)

### Branch Hannover

Walsroder Straße 305  
D-30855 Langenhagen  
Phone +49/(0) 5 11/77 95 39-3  
Fax +49/(0) 5 11/77 95 39-40  
E-Mail [hannover@hommelwerke.de](mailto:hannover@hommelwerke.de)

### Branch Duisburg

Halener Straße 43-45  
D-47198 Duisburg  
Phone +49/(0) 20 66/5 62-10  
Fax +49/(0) 20 66/5 62-30  
E-Mail [duisburg@hommelwerke.de](mailto:duisburg@hommelwerke.de)

### Branch Wiesbaden

Borsigstraße 7a  
D-65205 Wiesbaden-Nordenstadt  
Phone +49/(0) 61 22/78 05-0  
Fax +49/(0) 61 22/78 05-29  
E-Mail [wiesbaden@hommelwerke.de](mailto:wiesbaden@hommelwerke.de)

### Branch Karlsruhe

Erzbergerstraße 115  
D-76133 Karlsruhe  
Phone +49/(0) 7 21/97 39-550  
Fax +49/(0) 7 21/97 39-559  
E-Mail [karlsruhe@hommelwerke.de](mailto:karlsruhe@hommelwerke.de)

### Branch VS-Schwenningen

Alte Tuttlinger Straße 20  
D-78056 VS-Schwenningen  
Phone +49/(0) 77 20/602-0  
Fax +49/(0) 77 20/602-123  
E-Mail [info@hommelwerke.de](mailto:info@hommelwerke.de)

### Branch Schweitenkirchen

Liebigstraße 1  
D-85301 Schweitenkirchen  
Phone +49/(0) 84 44/92 09-0  
Fax +49/(0) 84 44/92 09-20  
E-Mail [schweitenkirchen@hommelwerke.de](mailto:schweitenkirchen@hommelwerke.de)

### Branch Schweinfurt

Dürffelder Straße 18  
D-97508 Grettstadt-Obereuerheim  
Phone +49/(0) 97 29/9 07 98-0  
Fax +49/(0) 97 29/9 07 98-29  
E-Mail [schweinfurt@hommelwerke.de](mailto:schweinfurt@hommelwerke.de)

### HOMMEL SOMICRONIC SARL

ZI La Vernangère  
F-01390 Saint-André-de-Corcy  
Phone +33/4-72 26 88-50  
Fax +33/4-72 26 88-59  
E-Mail [info@hommel.fr](mailto:info@hommel.fr)

### DETROIT PRECISION HOMMEL INC.

1505 Hamlin Road  
USA-Rochester Hills, MI 48309  
Phone +1/24-88 53-58 88  
Fax +1/24-88 53-15 05  
E-Mail [sales@dphgage.com](mailto:sales@dphgage.com)  
Internet [www.dphgage.com](http://www.dphgage.com)

### HOMMEL CHINA

Beijing Representative Office  
Room no. 403, Miyang Tower  
Yongan Dongli,  
Jian Guo Men Wai Avenue  
Beijing, 100022  
Phone +86/10-65 68 48-58  
Fax +86/10-65 68 48-45  
E-Mail [info@hommel-china.com](mailto:info@hommel-china.com)  
Internet [www.hommel-china.com](http://www.hommel-china.com)

### TELSTAR-HOMMEL CORPORATION

630-15 Deungchon-Dong  
Kangseo-Gu  
Seoul, Korea  
Phone +82/2-3665-4007  
Fax +82/2-3665-0090  
E-Mail [info@telstar-hommel.com](mailto:info@telstar-hommel.com)  
Internet [www.telstar-hommel.com](http://www.telstar-hommel.com)

## Příloha 6

	ProfiPress 60													
	Tlak[Mpa]	Hmotnost m	Výška h	Průměr d	G.D	Váha m2	δ hm	výška h2	smrštění výšky	průměr d2	smrštění průměru	F.D.	BR	Ra
	váha[T]	(g)	(mm)	(mm)	(g/cm3)	(g)	(%)	(mm)	(1)	(mm)	(1)	(g/cm3)	[%]	[um]
1	25,6 bar	16,79	8,43	33,26	2,29	16,18	3,60	7,15	1,179	28,09	1,184	3,65	50,19	0,20
2	4,8 T	16,73	8,40	33,26	2,29	16,12	3,65	7,13	1,178	28,09	1,184	3,66	56,25	0,20
3	55 Mpa	16,92	8,51	33,26	2,29	16,30	3,64	7,20	1,182	28,06	1,185	3,66	50,07	0,19
4		16,70	8,39	33,26	2,29	16,09	3,66	7,11	1,180	28,09	1,184	3,65	50,24	0,21
5		16,88	8,49	33,26	2,29	16,27	3,63	7,19	1,181	28,07	1,185	3,66	51,35	0,20
6		16,76	8,42	33,26	2,29	16,15	3,67	7,13	1,181	28,08	1,184	3,66	50,84	0,21
1	34,6 bar	16,87	8,33	33,27	2,33	16,26	3,62	7,09	1,175	28,26	1,177	3,68	54,24	0,18
2	7,1 T	16,95	8,31	33,27	2,35	16,30	3,83	7,09	1,172	28,31	1,175	3,68	59,48	0,20
3	80 Mpa	16,88	8,25	33,27	2,35	16,28	3,55	7,06	1,169	28,33	1,174	3,67	60,26	0,17
4		16,85	8,29	33,27	2,34	16,25	3,58	7,07	1,173	28,32	1,175	3,68	55,68	0,21
5		16,88	8,29	33,27	2,34	16,28	3,58	7,06	1,174	28,31	1,175	3,68	53,66	0,18
6		16,86	8,27	33,27	2,35	16,25	3,59	7,03	1,176	28,31	1,175	3,68	58,67	0,19
1	45,5 bar	16,66	7,99	33,28	2,40	16,05	3,65	6,93	1,153	28,49	1,168	3,69	57,49	0,18
2	9,7 T	16,83	8,04	33,28	2,41	16,22	3,65	6,94	1,159	28,51	1,167	3,69	60,42	0,17
3	110 Mpa	16,82	8,07	33,28	2,40	16,20	3,66	6,87	1,175	28,48	1,169	3,69	60,17	0,18
4		16,84	8,05	33,28	2,40	16,23	3,65	6,95	1,158	28,49	1,168	3,69	60,30	0,17
5		16,89	8,08	33,28	2,40	16,28	3,64	6,92	1,168	28,50	1,168	3,69	59,45	0,18
6		16,81	8,04	33,28	2,40	16,19	3,66	6,84	1,175	28,49	1,168	3,69	58,32	0,17
1	54,9 bar	17,76	8,35	33,27	2,45	17,12	3,61	7,23	1,155	28,61	1,163	3,70	57,98	0,15
2	12 T	17,97	8,48	33,27	2,44	17,32	3,63	7,37	1,151	28,63	1,162	3,70	61,03	0,16
3	136 Mpa	17,65	8,27	33,27	2,45	17,01	3,62	7,15	1,157	28,66	1,161	3,70	60,01	0,15
4		17,80	8,35	33,27	2,45	17,15	3,65	7,23	1,155	28,65	1,161	3,70	60,85	0,16
5		17,86	8,40	33,27	2,45	17,21	3,63	7,29	1,152	28,64	1,162	3,70	61,45	0,15
6		17,73	8,32	33,27	2,45	17,09	3,60	7,20	1,156	28,66	1,161	3,70	60,87	0,16
1	67,2 bar	17,29	7,98	33,28	2,49	16,65	3,68	6,95	1,148	28,77	1,157	3,71	65,20	0,14
2	15 T	17,28	7,99	33,28	2,49	16,67	3,56	6,96	1,148	28,82	1,155	3,71	59,23	0,17
3	170 Mpa	17,38	8,04	33,28	2,49	16,75	3,64	6,97	1,154	28,82	1,155	3,71	64,71	0,14
4		17,30	8,00	33,28	2,49	16,66	3,68	6,97	1,148	28,82	1,155	3,71	64,61	0,15
5		17,33	8,02	33,28	2,48	16,71	3,59	6,99	1,147	28,81	1,155	3,71	65,85	0,16
6		17,29	7,99	33,28	2,49	16,66	3,66	6,92	1,155	28,82	1,155	3,71	63,47	0,14
1	95,4 bar	17,41	7,80	33,28	2,57	16,75	3,79	6,83	1,142	29,04	1,146	3,72	67,25	0,15
2	21,9 T	17,34	7,81	33,28	2,55	16,71	3,61	6,85	1,140	29,03	1,146	3,72	63,09	0,12
3	248 Mpa	17,38	7,84	33,28	2,55	16,78	3,46	6,87	1,141	29,01	1,147	3,72	70,08	0,15
4		17,40	7,83	33,28	2,55	16,74	3,79	6,86	1,142	29,02	1,147	3,72	69,45	0,12
5		17,39	7,82	33,28	2,56	16,77	3,55	6,85	1,142	29,01	1,147	3,72	68,45	0,14
6		17,35	7,84	33,28	2,54	16,73	3,59	6,87	1,141	29,03	1,146	3,72	70,25	0,13

## Příloha 7



# BERULUB SIHAF 2

## Water tap grease

9011309  
Rev.17\_02.01.2012

Description
<p><b>BERULUB SIHAF 2</b> is a physiologically unobjectionable special grease based on silicone oil for the food- and beverage industry.</p> <p><b>BERULUB SIHAF 2</b> fulfils the conditions in accordance with NSF H1 and may be used thus, where occasionally, technically unavoidable contact with food is not to be excluded, proved by DVGW and meets the requirements of DIN EN 377 (Lubricants for applications in appliances and associated controls using combustible gases), corresponds to the UBA regulations to evaluate lubricants in contact with drinking water (sanitary lubricants).</p> <p><b>When using automatic dosing devices the following has to be observed:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Care for technically correct and controlled electrical grounding of the lubrication system.</li> <li>Avoid ingress of air when refilling the grease.</li> <li>Careful ventilation of the dosing equipment prior to initial operation.</li> <li>Use appropriate high pressure hoses of sufficient dimension, avoid narrow cable cross sections.</li> <li>Keep the lubricant pump pressure as low as possible.</li> <li>Avoid sudden 'pressure peaks' when pumping.</li> <li>Equip the system with pressure control valves and blow-out discs.</li> <li>Equip the system with a dry run safety system in order to avoid air suctioning.</li> <li>Contact the pump manufacturer with regard to the above measures.</li> <li>Observe the instructions given by the grease manufacturer in the corresponding safety data sheets and the operating instructions of the plant manufacturer.</li> </ul>

Application
<p>Long life grease for ceramic discs such as in water taps, to lubricate and seal stopcocks, rubber sleeves, special intake and discharge taps of machines such as used in breweries and the beverage industry.</p> <p><b>BERULUB SIHAF 2</b> is to lubricate gas taps except those designed for use in industrial processes.</p>

## Properties

- Service temperature  
-40 °C to +160 °C
- Corresponds to UBA guideline (KTW)
- NSF International Standard 61



Certified for a maximum surface area to volume ratio of 7.27 square inches per liter

- WRAS, British Standard
- DVGW acc. DIN EN 377
- French drinking water release (ACS)
- NSF-H1



Nonfood Compounds  
Program Listed H1  
127289

- Halal and Kosher certificates



- Belgaqua certificate

Thickener	Polytetrafluorethylene - PTFE		
Worked penetration	1/10 mm	220 - 250	DIN ISO 2137
Oil separation (18h/90 °C)	%	≤ 1,5	DIN 51 817
Water resistance	evaluation grade	1 - 90	DIN 51 807 P1
Base oil	Silicone oil		
Kin. viscosity at 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	approx. 3100	DIN 51 562
Kin. viscosity at 100 °C	mm <sup>2</sup> /s	approx. 1200	DIN 51 562

## Characteristic data

- NLGI grade 3
- Colour: White-crème

The above data correspond to latest technology, modifications reserved. This information is intended as a guide and does not necessarily represent a marketing specification. In individual cases tests have to be carried out by the consumer. Further data upon request.

## Příloha 8

# PARALIQ GB 363

Food-grade lubricating grease for valves and fittings



## Description

PARALIQ GB 363 is a food-grade lubricating grease which is resistant to cold and hot water, many disinfectants and detergents as well as vapor.

PARALIQ P GB 363 fulfills the German food regulations (LMBG, section 5 paragraph 1, section 31 paragraph 1) as well as DIN V 10517 on "food-grade lubricants" and meets the requirements set forth in the US "Guidelines of sec. 21 CFR, § 178.3570 of FDA regulations.

PARALIQ GB 363 has been approved by NSF under Registration No. 056371.

## Application

PARALIQ GB 363 offers excellent adherence and is neutral to beer froth. The grease can be used for beverage taps, especially beer taps of all kind, equipped with NBR seals or other elements made of NBR. It does not impair the formation of beer froth or the taste of beer.

PARALIQ GB 363 is also suitable for filling installations, filters, stuffing boxes, rubber membranes or seals.

## Application notes

PARALIQ GB 363 can be applied by brush, spatula, grease gun or cartridge.

## Minimum shelf life

The minimum shelf life is approx. 36 months if the product is stored in its unopened original container in a dry, frost-free place.

## Compatibility with materials

According to our current knowledge PARALIQ GB 363 is compatible with NBR.

Owing to the many different elastomer and plastic compositions we recommend having their compatibility checked by the seal manufacturer prior to series applications.

## Pack sizes

25 x 40 g tubes  
400 g cartridges  
1 kg cans  
25 kg buckets

## PARALIQ GB 363

- Food-grade lubricating grease for valves and fittings
- Resistant to cold and hot water, water vapor, many disinfectants and detergents
- Does not affect beer froth formation
- Approved by NSF under Category Code H1

## Material safety data sheets

Current material safety data sheets may be downloaded from our website [www.klueber.com](http://www.klueber.com) or requested from Klüber Lubrication.

## Product data

Base oil	paraffinic mineral oil, synthetic hydrocarbon oil
Thickener	silicate
Color	light yellow
Service temperature range*, [°C], approx.	-30 to 140
Density, DIN 51757, at 20°C, [g/cm <sup>3</sup> ], approx.	0.91
Base oil viscosity, DIN 51562 part 01 at 40 °C, [mm <sup>2</sup> /s], approx. at 100 °C, [mm <sup>2</sup> /s], approx.	2400 156
Water resistance, DIN 51807 part 01, 3h/90°C	0 - 90
Worked penetration, DIN ISO 2137, at 25°C, [0.1 mm]	215 to 245
Apparent dynamic viscosity ** Klüber viscosity class	S

\* Service temperatures are guide values which depend on the lubricant's composition, the intended use and the application method. Lubricants change their consistency, apparent dynamic viscosity or viscosity depending on the mechano-dynamical loads, time, pressure and temperature. These changes in product characteristics may affect the function of a component.

\*\* Klüber viscosity grades: EL = extra light lubricating grease; L = light lubricating grease; M = medium lubricating grease; S = heavy lubricating grease; ES = extra heavy lubricating grease

The data in this product information is based on our general experience and knowledge at the time of printing and is intended to give information of possible applications to a reader with technical experience. It constitutes neither an assurance of product properties nor does it release the user from the obligation of performing preliminary tests with the selected product. We recommend contacting our Technical Consulting Staff to discuss your specific application. If required and possible we will be pleased to provide a sample for testing. Klüber products are continually improved. Therefore, Klüber Lubrication reserves the right to change all the technical data in this product information at any time without notice.



Klüber Lubrication, a member of the Freudenberg group

Publisher and Copyright:  
Klüber Lubrication München KG

Reprints, total or in part, are permitted if source is indicated and voucher copy is forwarded.

Klüber Lubrication München KG  
Geisenhausenerstraße 7, 81379 München, Deutschland  
☎ +49 89 7876-0, Telefax +49 89 7876-333, [www.klueber.com](http://www.klueber.com)



## Příloha 9



## Interflon Fin Food Grease 2

### High Performance Grease for Food-Stuff Environments

#### Product description

High performance, multipurpose food-grade grease, fortified with Teflon®, particularly suitable for the lubrication of foodstuff machines in adverse conditions. Provides outstanding protection against wear, rust and corrosion and extended grease life for problem-free operation in high water wash areas.

Allows to safely extending service intervals to reduce costly maintenance, lubricant consumption and energy usage.

All components used in this product meet the requirements of the FDA and the French CODEX for "incidental food contact". Under the name Fin Grease Codex it is approved by the "Commonwealth Department of Primary Industries and Energy" for the lubrication of apparatus for meat and meat processing, with the possibility of incidental food contact (ref. T89/1887).

Fin Food Grease 2 is listed by the NSF in accordance with DIN V 10517 for the use in applications with incidental food contact (NSF-H1) with registration number 123822.

Is approved by FAG.

#### Application

Formulated for a myriad of heavy duty grease applications in food and beverage processing environments and the industry. Applications include the lubrication of slow to moderate moving bearings, shafts, chains, slide ways and open gears in food processing machines and the textile industry.

#### Advantages

- water and steam resistant up to 150°C
- colour: white
- sustains high loads up to 250 kg/mm<sup>2</sup> at low numbers of revolutions
- contains Teflon®\* for long lasting lubrication
- non tainting
- durable lubrication

#### Instructions for use

For best results, parts should be cleaned or purged of the previous lubricant prior to use.

**Safety regulations**

The product is not subject to identification regulations under EU Directives and the Ordinance on Hazardous Materials (German GefStoffV).  
See Material Safety Data Sheet.

**Packaging**

See our current article list.

**Transport regulations**

Not regulated.

**Technical data**

Basic components :	Mixture of medicinal white oil, polybutenes, Teflon® and additives
Temperature range :	-20 °C up to 150 °C
Colour :	white
Odour :	oily
N.L.G.I. ASTM D217 :	2
Penetration worked (60 strokes) ASTM D217 :	285
Penetration worked (100.000 strokes) ASTM D217 :	310
Roll stability ASTM D1831 / DIN 51804 :	5%
Dropping point ASTM D2265 / DIN 51801 :	none
Density @20 °C ASTM D1475 :	0.94 g/ml
Base oil viscosity @40 °C ASTM D445 :	400 cSt
Viscosity index ASTM D2270 :	105
SKF Emcor distilled water DIN 51802 :	1-2
SKF Emcor salt water DIN 51802 :	n.a.
Copper corrosion ASTM D4048 / DIN 51811 :	1b
Water washout ASTM D1264 :	1.5%
Water resistance DIN 51807 :	1



Oxidation resistance DIN 51808 :	n.a.
DN-factor :	250.000
Shelf life :	4 years**

\*\* Usable life of the product when stored at room temperature in the original and unopened packaging.

---

**INTERFLON B.V., P.O. Box 1070  
NL-4700 BB Roosendaal, The Netherlands  
Tel. (31) 165 55 39 11 / Fax (31) 165 53 80 82 / [www.interflon.com](http://www.interflon.com)**

---

This information is based on our present state of knowledge and is intended to provide general notes on our products and their uses. It should not therefore be construed as guaranteeing specific properties of the products described or their suitability for a particular application. Any existing industrial property rights must be observed. The quality of our products is guaranteed under our General Conditions of Sale.

Teflon® is a registered trademark of E.I. DuPont de Nemours

Interflon® is a registered trademark of Interflon bv

Interflon reference nr.: ENT8037014/04/2004